

Nuno António Pereira da Silva

## **A CONSTRUÇÃO ROBOTIZADA EM ARQUITETURA**

---

ISCTE- IUL - Instituto Universitário de Lisboa 2016/2017





# A CONSTRUÇÃO ROBOTIZADA EM ARQUITETURA

NUNO ANTÓNIO DO SACRAMENTO PENACHO PEREIRA DA SILVA

TRABALHO DE PROJECTO SUBMETIDO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ARQUITECTURA

**ORIENTADOR** VERTENTE TEÓRICA

PROFESSORA DOUTORA SARA ELOY

Professora Auxiliar do ISCTE-IUL

**COORIENTADOR** VERTENTE TEÓRICA

PROFESSOR DOUTOR PEDRO SEBASTIÃO

Professor Auxiliar do ISCTE-IUL

**WINE & RESEARCH**

**TUTOR** VERTENTE PRÁTICA

PROFESSOR DOUTOR PEDRO MENDES

Professor Auxiliar do ISCTE-IUL

ISCTE- IUL - Instituto Universitário de Lisboa

Mestrado Integrado em arquitectura

Projecto Final de Arquitectura

2016/2017

# ÍNDICE

---

<b>RESUMO</b>	8
<b>ABSTRACT</b>	10
<b>AGRACECIMENTOS</b>	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	15
1.1- DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 - PERGUNTAS DE INVESTIGAÇÃO E HIPÓTESE	17
1.3- METODOLOGIA	18
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
<b>2. NOVAS TECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA</b>	23
2.1- OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO AUTOMATIZADA NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL	25
2.2 - OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO AUTOMATIZADA NA INDÚSTRIA NAVAL	29
2.3 - OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO AUTOMATIZADA NA INDÚSTRIA DE COMPONENTES INFORMÁTICOS	32
2.4 - OS AVANÇOS E AUTOMATIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DO CALÇADO	33
2.5 - O LUGAR DO "HAND MADE"	36
2.6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
<b>3. NOVAS TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO: ROBOTS E DRONES</b>	39
3.1 - O BRAÇO ROBÓTICO	42
3.1.1 - TECNOLOGIA	42

3.1.2 - UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA	46
3.2 - OS DRONES	47
3.2.1 - TECNOLOGIA	47
3.2.2 - UTILIZAÇÃO DOS DRONES PELOS MILITARES	48
3.2.3 - UTILIZAÇÃO DE DRONES PARA FINS CIVIS	54
3.3 - MÁQUINAS COM CAPACIDADE DE FABRICAÇÃO DIGITAL	61
3.3.1 - SECCIONAMENTO OU SUBTRAÇÃO (SECTIONING)	61
3.3.2 - TECELAGEM (TESSELLATING OU TILING)	64
3.3.3 - DOBRAGEM (FOLDING)	67
3.3.4 - ESCULTURA (CONTOURING)	69
3.3.5 - FORMAÇÃO (FORMING)	71
3.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
<b>4. NOVAS TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO: ROBOTS E DRONES</b>	<b>75</b>
4.1 - PROJECTO FLIGHT ASSEMBLED ARCHITECTURE	77
4.2 - PROJECTO THE AERIAL CONSTRUCTION	83
4.3 - THE INFORMED WALL	90
4.4 - ON THE BRI-N-CK	94
4.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
<b>5. UMA EXPERIÊNCIA COM DRONES</b>	<b>99</b>
5.1 - EXPERIÊNCIA 1	103
5.2 - EXPERIÊNCIA 2	105
5.3 - EXPERIÊNCIA 3	106
5.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
<b>6. DISCUSSÃO, PRÓS E CONTRAS DA CONSTRUÇÃO ROBÓTICA</b>	<b>111</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b>	<b>129</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>134</b>
<b>ÍNDICE DE IMAGENS</b>	<b>140</b>

## RESUMO

---

Este trabalho pretende explorar as hipóteses que a tecnologia robótica pode trazer para a indústria da construção. Tendo em conta o uso de elementos robóticos em outras indústrias como a naval, a automóvel e a de componentes informáticos questiona-se aqui como estas tecnologias poderiam ser utilizadas para a indústria da construção e o que mudaria nesta. O trabalho inicia-se por uma alusão a outras indústrias e em como a tecnologia robótica veio alterar o método de produção e os produtos por ela produzidos. Seguidamente tecemos algumas considerações sobre os braços robóticos e sua utilização na Indústria assim como a utilização de drones para fins militares e civis. De modo a extrapolar o impacto destas tecnologias se usadas na construção de edifícios, estudaram-se também algumas técnicas de Fabricação Digital que, nos permitiram observar as alterações que a introdução da tecnologia operou na arquitetura e na construção. Apresentam-se ainda os casos de estudo atuais onde se utilizaram a construção com drones e com braços robóticos.

---



De modo a compreender por um lado as vantagens e por outro a complexidade envolvida no processo de construção que se propõe desenvolveram-se a nível conceptual três experiências, nomeadamente a construção de uma torre com tijolos, de uma parede vertical simples, e de uma parede com uma geometria complexa. Para o desenvolvimento deste trabalho foi de vital importância os testemunhos diretos, através de entrevistas, a alguns dos protagonistas mais relevantes a nível mundial nesta área, os arquitectos Fabio Gramazio e Tobias Bonwetsch da ETH Zúrique e o arquiteto José Pedro Sousa da FAUP.

Palavras Chave: Novas Tecnologias; Robotica; Drones; Construção

## ABSTRACT

---

This piece is meant to explore the hypothesis of what robotics can bring to the construction industry. Having in mind the usage of robotic elements in other industries such as the naval, cars and of informatic components, the question of how could these technologies be applied to the construction industry, and what it would change, arises. This piece starts itself by alluding to other industries and how it has altered the production method and the products by it produced. Furthermore, a few considerations will be pondered on the robotic arms and its uses in the industry as much as the utilization of drones for military and civil purposes. In order to extrapolate the impact of these technologies if used in the construction of buildings, a few other techniques have been studied in the Digital Making that allowed us to observe the alterations that the introduction of this technology fathered in architecture and construction. A few present study cases where these techniques (robotic arms and drones) are applied, are also presented.

In order to comprehend the advantages and complexity involved in the

---

process of building that it is meant to serve, three experiments at conceptual level were developed, mainly the construction of a brick tower, a simple vertical wall, and another with a very intricate and complex geometry. In order to fulfill the development of this work, it was of extreme importance the direct testimonies that were gathered through interviews to a few of the world level protagonists in this area, the architects Fabio Gramazio and Tobias Bonwetsch of ETH Zurich, and the architect José Pedro Sousa from FAUP

Keywords: New Technologies; Robotics; drones; Construction.

## AGRADECIMENTOS

---

Para a realização desta tese de mestrado foi necessária a intervenção, apoio e incentivo de várias pessoas. Por essa razão gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos os que tornaram a sua realização possível.

À Professora Doutora Sara Eloy, orientadora da dissertação, pela forma como orientou o presente estudo, pelo seu apoio, atenção e disponibilidade, assim como pelas valiosas contribuições para o trabalho.

Ao Professor Doutor Pedro Sebastião, do Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação (ISTA), co-orientador desta dissertação, pela sua contribuição em toda a parte técnica desta dissertação, e pela sua disponibilidade.

Ao Professor Doutor Pedro Mendes, tutor da parte prática, pela forma

---

atenta como orientou o processo de projecto, pelo apoio e discussão sobre os problemas encontrados ao longo do percurso.

A todos os professores presentes no meu percurso académico, sem os quais nada teria sido possível.

Aos Professores entrevistados, José Pedro Sousa (FAUP), Fábio Gramazio (ETH) e Tobias Bonwetsch (ETH), pela sua disponibilidade, atenção e valiosa contribuição na realização desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas, Carina Ribeiro, Hugo Pereira e todos os que me acompanharam ao longo deste percurso académico, pela sua amizade, pelo apoio, companheirismo, força e ajuda durante estes últimos cinco anos.

Para terminar, e por ter consciência que sozinho nada seria possível, agradeço a toda a minha família, sempre presente ao longo de todo o meu percurso académico, e em especial aos meus pais, pelo seu apoio incondicional, incentivo constante, pela sua amizade, paciência e constante ajuda ao longo desta longa caminhada. Obrigado por tudo...



# 1

## INTRODUÇÃO

---

O papel das novas tecnologias digitais, e a forma acelerada como estas se têm desenvolvido, afetam toda a nossa sociedade e, por consequência, a nossa vida quotidiana, incluindo as formas de produção do espaço construído.

Ao olharmos para a história, não como uma “compartimentação” de séculos que se sucedem, mas sim como um contínuo marcado por diversos acontecimentos que marcam rupturas sociais, ideológicas, artísticas, políticas, entre outros, vemos como, nesse contínuo se dão as rupturas mais importantes e que marcaram mais a sociedade atual. Estas rupturas definem e caracterizam as evoluções e mudanças de paradigmas nas distintas áreas de saber, artísticas, políticas, de organização social e tecnológicas.

O final do século XIX, o período marcado pela revolução industrial, por diversas inovações tecnológicas – como a lâmpada e o automóvel – e

---

por novas infra-estruturas – como as estradas e os caminhos de ferro – foi fulcral no desenvolvimento da sociedade moderna. Também no campo da arte e da arquitectura se deu uma revolução, tendo surgido na pintura novos movimentos artísticos como o impressionismo, sendo de realçar pintores como Claude Monet, Pierre-Auguste Renoir e Georges Seurat. Na arquitectura a utilização de novos materiais como o ferro e o aço aliados a novos modos de construir, revolucionaram o modo de projetar fazendo surgir novos programas e soluções de espaço.

Logo no início do século XX o evento que marcou mais profundamente a sociedade e representou a ruptura com o passado, foi a I Grande Guerra (1914-1918), conflito que abalou as sociedades e os Impérios Ocidentais. No período subsequente, marcado por um duro pós-guerra, foi necessário um grande esforço para levantar os estados que surgiram após o fim dos grandes Impérios, bem como todos os outros que intervieram no conflito, exigindo que estes se reconstruíssem material, económica e fisicamente.

Hoje em dia, a evolução tecnológica ocorrida numa década é equivalente à correspondente a um século na era de Revolução industrial, e a vários séculos da primeira revolução agrária. Com os rápidos desenvolvimentos a que temos assistido nas últimas décadas na sociedade actual, em todas as áreas do conhecimento, de que destacamos a inteligência artificial e a robótica, estamos perante uma nova revolução, a revolução di-



gital, que indelévelmente terá consequências nas novas formas de produção e de construção que, por sua vez, terão influência na forma de projetar arquitetura.

### 1.1 Definição do Problema

A indústria da construção de edifícios utiliza maioritariamente técnicas de construção tradicional que tornam as obras morosas, caras e suscetíveis a erros de concretização. Apesar de em outras áreas, como a indústria automóvel e naval, a construção já ser muito automatizada, a indústria da construção de edifícios não adotou novas tecnologias encontrando-se como que estagnada no tempo.

### 1.2 Perguntas de investigação e hipótese

A proposta de utilização de tecnologias robóticas na indústria da construção de edifícios levanta uma série de questões que serão abordadas ao longo do trabalho.

À semelhança do que se passa noutras indústrias onde a integração de robots tem implicado uma diminuição de custos, um aumento da produção, e um maior rigor no produto final, será que a utilização da tecnologia digital e o recurso integrado à utilização de máquinas/robots, permitirá construir com mais rapidez, menores custos, e explorar novas formas e materiais?



**Fig.2 - Braço robótico a soldar objecto metalico, MX3D Bridge, 2017. (mx3d.com, 2017, 8)**



**Fig.3** - Braços robóticos a “imprimir” ponte, rederização, MX3D Bridge, 2017. (mx3d.com, 2017, 8)

Será que a utilização destas tecnologias permitirá repensar a maneira de projetar em arquitetura?

Levantam-se duas hipóteses para este trabalho que são representativas de dois objetivos na arquitetura e na construção, um mais artístico e outro mais economicista:

1. A primeira hipótese levantada por este trabalho é que a utilização de braços robóticos e drones tem vantagens para a construção de edifícios em locais de difícil acesso e com geometrias complexas.
2. A segunda hipótese levantada por este trabalho é que a utilização de braços robóticos e drones tem vantagens em termos de tempo e conseqüentemente custo para a montagem de elementos padrão ou repetitivos de edifícios.

### **1.3 Metodologia**

A Metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi a seguinte:

- (i) Recolha e análise bibliográfica de trabalhos efetuados sobre o tópico de investigação;
- (ii) Realização de entrevistas a profissionais e investigadores que utilizam tecnologias robóticas

- a. Fabio Gramazio, ETH Zurique e Gramazio Kohler architects
- b. Tobias Bonwetsch, ETH Zurique
- c. José Pedro Sousa, FAUP

(iii) Análise da tecnologia a ser utilizada - braços robóticos e drones;

(iv) Análise da utilização atual destas tecnologias em outras indústrias;

(V) Análise da utilização atual destas tecnologias na construção de edifícios e em arquitetura;

(Vi) Definição de perspectivas futuras da sua utilização em arquitetura

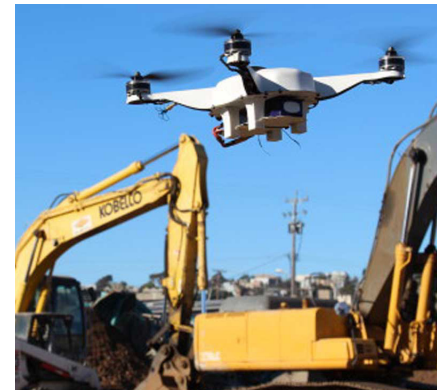
(Vii) Definição de uma experiência de utilização de drones para construção em parceria com o IT-IUL

(Viii) Escrita do trabalho

## 1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco grandes capítulos, antecedidos por uma introdução.

No segundo capítulo - Novas Tecnologias na Indústria - ana-



**Fig.4** - Drones para “Construction Mapping Solutions” 2017. (theurbandeveloper.com, 2017, 8)

lisam-se as várias áreas industriais consideradas pioneiras no uso da tecnologia robótica para a produção, tendo em consideração a sua evolução, o momento em que o paradigma se alterou e a robotização foi integrada no seu quotidiano industrial. Pretende-se com este estudo determinar de que forma a robotização teve influência no aumento da produção, na diminuição de custos e principalmente no aumento da qualidade da produção.

No terceiro capítulo - Novas Tecnologias para construção: Robots e Drones - apresenta-se a tecnologia dos Braços Robóticos e os Drones e a sua evolução recente bem como outras técnicas de fabricação digital aplicáveis à construção civil, que podem utilizar a tecnologia digital com ganhos de eficácia e eficiência.

No quarto capítulo - A construção robotizada em arquitetura - prospetiva-se quais os novos paradigmas e as consequências, que a introdução de um sistema integrado de máquinas robóticas na construção terá em termos do processo de projeto e do processo de obra.

No quinto capítulo - Uma experiência com drones - define-se o que poderia ser uma experiência com drones indoor especificando várias escalas de requisitos de sistema e possíveis soluções

No sexto capítulo discute-se os resultados do trabalho e no último capítulo apresentam-se as conclusões.



**Fig.5** - The Rob/Arch 2012 em Roterdão, 2017. (architectenweb.nl, 2017, 7)



# 2

## NOVAS TECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA

### A Era da Robotização

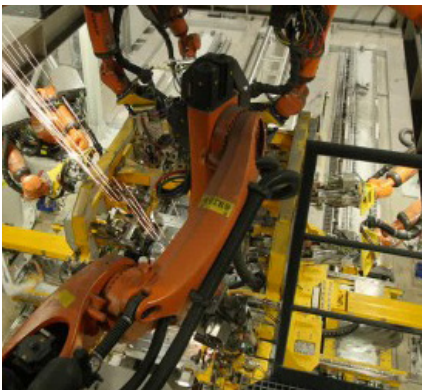
---

O presente capítulo refere os avanços na produção automatizada na indústria automóvel, na indústria naval, na indústria de componentes informáticos e do calçado ocorridos desde o último quartel do século XX até à atualidade. Refere-se ainda como o uso desta tecnologia veio alterar a indústria permitindo executar produtos mais baratos e com maior qualidade final. O presente capítulo ressalta ainda a importância actual dos produtos feitos manualmente e com algum retorno a uma maior personalização.

---



**Fig.7** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)



**Fig.8** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)

Neste capítulo vou analisar os vários ramos industriais considerados pioneiros no uso da tecnologia/robótica para a produção, tendo em consideração a sua história, o momento em que o paradigma se alterou, e a robotização foi integrada no seu quotidiano industrial. Com a revolução tecnológica em que atualmente vivemos, a nossa sociedade tornou-se dependente de toda uma nova panóplia de dispositivos digitais que se passaram a ser indispensáveis para a realização da maioria das tarefas quotidianas, fazendo com que a máquina seja uma extensão do próprio homem.

Desde os finais do século XX vários sectores de produção adaptaram as novas tendências tecnológicas, alterando a forma de produção dos seus bens. Para isso a robotização foi implementada como forma de aumentar o volume de produção e a margem de lucro, como consequência da diminuição do tempo de produção e menores gastos com mão-de-obra. Exemplos destes sectores industriais são as indústrias automóvel e naval, que foram as pioneiras deste processo de robotização, e a indústria do calçado e digital que, apesar de tardiamente, viram na robotização o futuro. (Ahlborn, 2016)



## **2.1 Os avanços na produção automatizada na indústria automóvel**

A indústria automóvel [Fig. 7e8] tem sido uma das que mais avançou sob o ponto de vista tecnológico na utilização de robots. Nos primórdios da sua criação, Henry Ford, fundador da "Ford Motors", aplicou o conceito/sistema da linha de montagem na produção do carro Ford. O conceito de linha de montagem foi aplicado após os estudos de Frederick Taylor (1856-1915) que decompunha tarefas complicadas em tarefas simples, media os tempos mínimos entre cada tarefa com objetivo de reduzir o tempo final e aumentar a produção, este conceito deu origem ao Taylorismo, no qual o que interessava era aumentar a produção em detrimento das necessidade e qualidade de vida do homem. (Taylor,1919) Podemos considerar este sistema como o início da robotização da indústria, retratado por Charles Chaplin na sua obra "Modern Times", na qual o autor representa um operário, que por repetir o mesmo trabalho constantemente, no final do seu turno continua a repetir os mesmos movimentos. (Chaplin, 1936) Num sentido similar Taylor referiu no seu livro "The Principles of Scientific Management":

*"Hardly a competent workman can be found who does not devote a considerable amount of time to studying just how slowly he can work and still convince his employer that he is*



**Fig.9** - Nissan ASSEMBLY LINE, Resende, Nissan, 2014. (www.just-auto.com, 2017, 8)



**Fig.10** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)

*going at a good pace.” (Taylor, 1919, p.120)*

*“In the past the man has been first; in the future the system must be first... The first object of any good system must be that of developing first class men.” (Taylor, 1919, p.180)*

A partir de 1960, a robotização está na vanguarda da indústria automóvel moderna, atualmente esta tendência continua a crescer, tornando-a numa das mais avançadas tecnologicamente.[Fig 9, 10 e 11]

Em 1978, a empresa Unimate, por encomenda da General Motors, criou o primeiro robot a ser usado numa fábrica, o PUMA. No entanto, só após 20 anos depois da sua criação, a robótica foi utilizada como parte integrante da indústria automóvel. Desde então os robots foram sendo aperfeiçoados e desenvolvidos para se tornarem específicos para soldar, pintar, fundir e montar peças, tornando este método de produção no mais sofisticado.

*“Since the 1960s, industrial robots have been at the forefront of modern automotive manufacturing. Today, that use continues to grow.” (Ahlborn, 2016)*

Atualmente existem algumas fábricas onde o trabalho humano foi totalmente substituído por robots, de que é

exemplo a fábrica de automóveis japonesa Lexus, que desde a sua génese se tornou célebre por ser a única em que nenhuma tarefa é executado por seres humanos. De facto, toda a produção é feita por robots que, numa linha de montagem, criam as peças e montam-nas, até o automóvel estar finalizado. Apesar disso são pessoas que continuam a controlar a qualidade. (Friedman, 2000, p.30)

A descrição desta fábrica e de todo o seu potencial de automatização robótica é narrada por Thomas Friedman no seu livro, "The Lexus and the olive tree" como se apresenta a seguir:

*"... and I arranged to visit the Lexus luxury car factory outside Tokyo City, south of Tokyo. It was one of the most memorable tours I've ever taken. At the time, the factory was producing 300 Lexus sedans each day, made by 66 human beings and 310 robots. From what I could tell, the human beings were there mostly for quality control. Only a few were actually screwing in bolts or soldering parts together. The robots were doing all the work. There were even robotic trucks that hauled material around the floor and could sense when a human was in their path and would "beep, beep, beep" at them to move. I was fascinated watching the robot that applied the rubber seal that held in place the front windshield of each Lexus. The robot arm would neatly paint the hot molten rubber in a perfect rectangle around the window. But what I liked most was that when it finished its application there was always a tiny drop of rubber left hanging from the tip of the robot's finger - like the drop of toothpaste*



**Fig.11** - Nissan ASSEMBLY LINE, Resende, Nissan, 2014. ([www.just-auto.com](http://www.just-auto.com), 2017, 8)



**Fig.12** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)

*that might be left at the top of the tube after you've squeezed it onto your toothbrush. At the Lexus factory, though, this robot arm would swing around in a wide loop until the tip met a tiny, almost invisible metal wire that would perfectly slice off that last small drop of hot black rubber-leaving nothing left over. I kept staring at this process, thinking to myself how much planning, design and technology it must have taken to get that robot arm to do its job and then swing around each time, at the precise angle, so that this little thumbnail-size wire could snip off the last drop of hot rubber for the robot to start clean on the next window. I was impressed." (Friedman, 2000, p.30)*

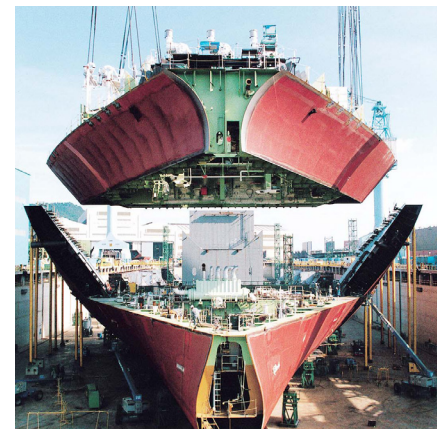
Com base nos rápidos avanços tecnológicos, a indústria automóvel é considerada uma das mais avançadas, devido à utilização massiva de robótica que é fundamental para a produção [Fig.12]. (Jürgens et al.,1993, p.19) Esta automatização da indústria deveu-se à necessidade de responder ao aumento do mercado que se deveu por sua vez ao crescimento económico da China e da Índia. Em 2013 foram instalados 70.000 novos robots nas várias fábricas da indústria automóvel, que aumentaram a produção mundial em cerca de 90 milhões de unidades. (Jürgens et al., 1993, p.19)

## 2.2 Os avanços na produção automatizada na indústria naval

Tal como na indústria automóvel, a indústria naval sempre esteve na vanguarda do uso da tecnologia para a construção de grandes e melhores embarcações, tornando o processo de construção mais rápido e reduzindo os acidentes. [Fig.13]

Nesta indústria, a robótica tem sido aplicada em quatro tarefas principais: soldar, pintar, rebitar e montar peças de grandes dimensões ao longo do processo de construção. (Rooks, 1997, p.418) Contrariamente à produção automóvel, a indústria naval, atendendo às dimensões do produto, não funciona em linha de montagem mas sim na pré-fabricação de blocos, "block assembly", produzidos normalmente por "outsourcing" e montados em estaleiro. Como constata Brian Rooks:

*"New safety regulations and new more technically demanding designs are being introduced on an ever more regular basis. Ships have to be built faster and more economically. Gone are the days of labour-intensive methods with thousands building one ship. Today, the emphasis is on flexibility and mechanization with a ship being designed, planned and built in a matter of weeks, not years, as in the past."* (Rooks, 1997, p.418)



**Fig.13** - Ship Assemblies, Kawasaki Robotic, 2013. (wildiridiscovery.blogspot.pt, 2017, 8)



**Fig.14** - Arc Welding Ship Assemblies, Kawasaki Robotic, 2013. (<http://wildiridiscovery.blogspot.pt>, 2017, 8)



**Fig.15** - Braços robóticos a cortar aberturas no casco da embarcação, Bavaria Yacht, 2017. ([sailingbreezes.com](http://sailingbreezes.com), 2107, 8)

*"It is a challenge that demands the most modern construction methods and just-in-time production to reduce costs and shorten lead times. A key aspect of the solutions being adopted by the industry is prefabrication of sub-assemblies on automated lines using robot welding technology." (Rooks, 1997, p.420)*

As duas vertentes de construção de navios utilizadas pela indústria naval, dependem das dimensões das embarcações produzidas, ou seja quanto maior é a embarcação mais difícil se torna a sua produção em série. (Rooks, 1997, p.418)

O processo de construção de grandes embarcações é efetuado num único local, para o qual são transportados e colocados previamente todos os elementos de construção em blocos de grandes dimensões, facto que torna impraticável efetuar a sua construção em linha, o que faz com que cada navio possa ser personalizado de acordo com as exigências do armador. (Rooks, 1997, p.418) [Fig. 14]

Na indústria de embarcações de recreio, pelas suas mais reduzidas dimensões, o processos de construção é semelhante ao da industria automóvel, diferindo desta por as embarcações estarem paradas paralelamente umas às outras, do início ao fim da construção, os braços robóticos e os operários é que se movimentam sequencialmente numa linha de montagem paralela às embarcações, na qual encontramos diversas embarcações em diferentes etapas de construção.[Fig. 15 e 16]

O processo de construção de algumas das marcas navais de embarcações de recreio utiliza fundamentalmente os braços robóticos, como forma de diminuir o tempo de construção e a imprecisão da mão humana, criando por esse facto um produto perfeito, do ponto de vista aerodinâmico, permitindo produzir embarcações mais rápidas e eficientes. ("Bavaria Yachts", 2017a; "BAVARIA YACHTS", 2017b)

A marca Bavaria pode ser considerada um exemplo do que acabámos de afirmar, dado que foi pioneira na utilização das novas tecnologias e da robótica na construção de veleiros, utilizando vários tipos de braços robóticos para: a criação dos moldes dos cascos das embarcações; cortar as aberturas necessárias, utilizando fresadoras; polir e terminar os cascos, utilizando máquinas polidoras; cortar, agrupar e envernizar os diversos tipos de componentes, interiores e exteriores, necessários nos acabamentos das embarcações. ("Bavaria Yachts", 2017a; "BAVARIA YACHTS", 2017b)

*"Before fitting and hatch assembly on deck, the milling and drilling has to be completed. To automate these tasks, BAVARIA developed a CNC system years ago that to date is unique in the global yacht and boat building industry. The deck layout of each type of yacht and the hole patterns for standard and optional equipment are stored by means of CAD/CAM. This requires hundreds of individual operations that are already predefined*



**Fig.16** - Linha de montagem das embarcações, Bavaria Yach, Deutschland, Michael Amme, 2011. (michaelamme.de, 2017, 7)



**Fig.17** - Revolução robotica na China: foxbots, Getty Images, 2017. (ibtimes.com, 2017, 7)



**Fig.18** - Fabrica na China - Linha de montagem, Oreintal focus, 2015. (orientalfocus.wordpress.com, 2017, 7)

*in the development phase of a yacht, and then optimised. The aim of this automation process was and is to reach a consistently high quality with continuous improvement in productivity. Precise arrangement of the deck openings is crucial in ensuring subsequent sealing.” (“BAVARIA YACHTS”, 2017b)*

## **2.3 Os avanços na produção automatizada na indústria de componentes informáticos**

Também na indústria de produção de computadores e seus componentes, ao longo das últimas décadas, têm-se assistido a uma lenta substituição dos postos de trabalho por máquinas inteligentes capazes de processar as variadas tarefas. Esta produção funciona também através de uma linha de montagem na qual a intervenção do homem no fabrico do produto final não é necessária.[Fig. 18]

A Foxconn, a maior empresa de fabrico de componentes eletrónicos e computadores do mundo com mais de um milhão de trabalhadores, em 2011 instalou cerca de 10.000 robots (foxbots) [Fig. 17 e 19] capazes de efetuar simples tarefas como montar, pulverizar e soldar. Desde então os foxbots estão lentamente a substituir os trabalhadores da fábrica e simultaneamente a aumentar o seu volume de produção. Sabemos que atualmente a empresa está a instalar foxbots numa média de



30.000 por ano. (Davidow and Malone, 2016) Como analisado por William Davidow e Michael Malone a Foxconn irá no futuro continuar a substituir a mão-de-obra humana pelos robots:

*"If you doubt the march of worker-replacing technology, look at Foxconn, the world's largest contract manufacturer... This means, of course, that the company will avoid hiring those next million human workers."* (Davidow and Malone, 2016)

*"We have over one million workers. In the future we will add one million robotic workers."* (Davidow and Malone, 2016)

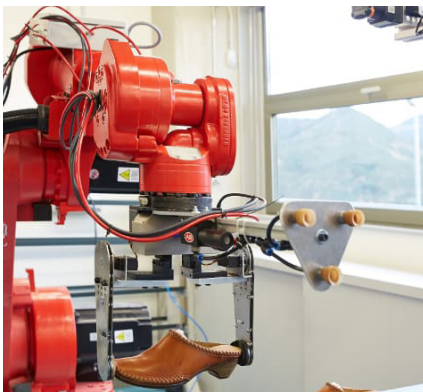
## **2.4 Os avanços e automatização na indústria do calçado**

Relativamente à indústria do calçado, esta sempre foi essencialmente manual, devido sobretudo à grande variedade de formatos e estilos, à complexidade da manufatura, à sua montagem e à qualidade dos materiais usados, que constituem os grandes obstáculos à robotização. (Patten, 2016)

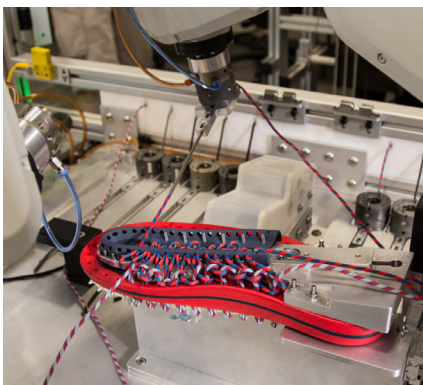
Até ao final do século XIX, o processo de produção de calçado continuava manual, no entanto, com o virar do século, este começa ser assistido por máquinas especializadas para coser e cortar, criando linhas de montagem mecanizadas



**Fig.19** - foxconn robots, China, 2016. (zd-net.com, 2017, 7)



**Fig.20** - Robots na indústria do calçado, IK4 Tekniker, 2016. (tekniker.es, 2017, 6)



**Fig.21** - Robots na indústria do calçado, IK4 Tekniker, 2016. (tekniker.es, 2017, 6)

para a produção em massa. Os primeiros passos para a mecanização iniciaram-se durante as guerras napoleónicas, sendo o engenheiro Marc Brunel, responsável pela criação de todas as máquinas necessárias à produção de botas, mais resistentes e acessíveis, dada a grande necessidade de calçar o exército Britânico, para fazer face às invasões de Napoleão Bonaparte. Com o final da guerra, em 1815, o trabalho manual tornou-se mais acessível financeiramente que o industrial, sendo abandonado o sistema de Brunel e todas as máquinas criadas, devido ao crescente número de mão-de-obra e à falta de mercado.

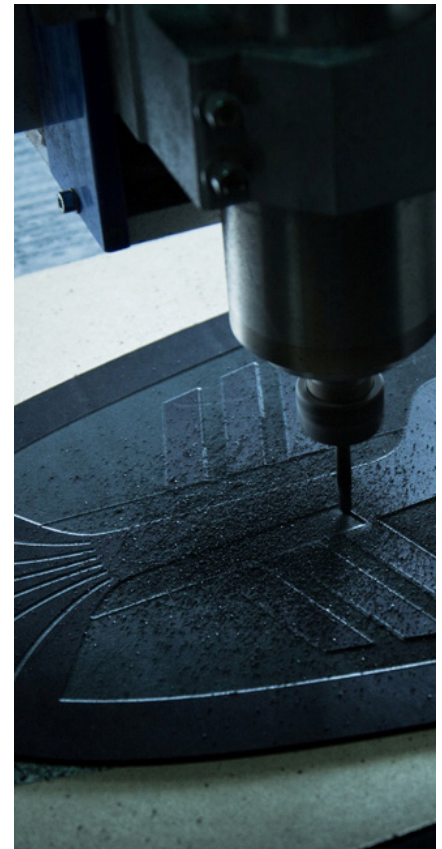
Em 1846 é criada a máquina de coser calçado e assim, em 1850, a mecanização volta a reintroduzida na indústria, principalmente na Inglaterra e nos USA, dadas as crescentes necessidades de calçar a população. Criam-se a partir desta data novas e melhoradas fábricas. As inovações e aperfeiçoamentos mecânicos que se seguiram, em todas as etapas do processo, tornaram-no totalmente mecanizado em 1890. (Patten, 2016)

Atualmente com os grandes avanços tecnológicos prevê-se a criação de robots inteligentes capazes de ultrapassar a complexidade da criação de calçado, aumentando a sua produção, diminuindo o tempo e reduzindo o custo de produção. [Fig. 20 e 21] Corroborando esta afirmação Brigg Patten refere que:

*"Adidas is creating a so-called speedfactory that will be ope-*

*rated by robots with less than a dozen employees to oversee operations. Fast-paced production companies like Adidas must continually adapt to market changes with annual product innovations if they want to stay ahead of the competition.” (Patten, 2016)*

Neste sector de produção não encontramos exemplos de fábricas completamente robotizadas. A tecnologia de impressão 3D pode alterar esta realidade. Podemos destacar, como líder deste processo de robotização com base na impressão 3D, a marca Adidas que atualmente emprega mais de um milhão de trabalhadores. Como forma de reduzir os custos de produção, a marca está atualmente a criar a “speedfactory”, uma fábrica completamente operada por robots, que aumenta a produção e reduz os custos, recorrendo à tecnologia de impressão 3D para a produção em massa, permitindo personalizar o calçado sem aumentar os custos de produção (Patten, 2016). [Fig. 22]



**Fig.22** - Fabrico dos sapatos marca Adidas, Speedfactory, Adidas, 2017, (mynewsdesk.com, 2017, 6)



**Fig.23** - A arte da criação de sapatos, Prada handmade collection, Prade, 2017. (Pinterest.com, 2017 , 6)



**Fig.24** - Estudantes em Michigan a construir Barco classico,Rod Sanford & Lansing State Journal, 2015. (lansingstatejournal.com, 2017, 8)

## 2.5 O lugar do “hand made”

Em todos os sectores industriais que analisamos parece haver uma tendência para a robotização tendo em vista baixar custos e aumentar a produção. Estas melhorias da atividade de produção são também acompanhadas da dispensa do homem da atividade direta de produção e deste modo no potencial de diminuição dos postos de trabalho. No entanto, verificou-se a existência de uma tendência contrária num nicho de mercado correspondente ao sector designado por premium. (Fionda and Moore, 2009, p.349) Neste sector várias marcas estão a contrapor à robotização o processo de produção “Hand made” como forma de valorização do produto dada a sua exclusividade. Verificamos esta tendência na indústria de carros de luxo [Fig. 25], p.e. a Mercedes-Benz está a desenvolver novos modelos exclusivos feitos mão e na indústria de pequenas embarcações de luxo [Fig. 24], com produções feitas artesanalmente em madeira. Também na indústria do calçado[Fig. 23] o “Hand Made” juntamente com novos desenhos de autor e com uso de materiais de grande qualidade é muito valorizado, chegando alguns pares de sapatos a atingir quantias superiores a 2000 euros, de que é exemplo a marca LouBoutin. O setor de calçado Português está igualmente a investir neste nicho de mercado e a renovar a sua oferta com resultados extremamente positivos.

Relativamente à Mercedes-Benz Carolina Rico (2016) refere

que também há sinais de uma tendência contrária visto que esta marca, em certos modelos, *“está a inverter a tendência, está a criar uma anti-revolução no que o mundo tem vindo a assistir. A maior marca alemã do ramo automóvel está a tirar os robôs da linha de montagem para colocar pessoas.”* (Rico, 2016)

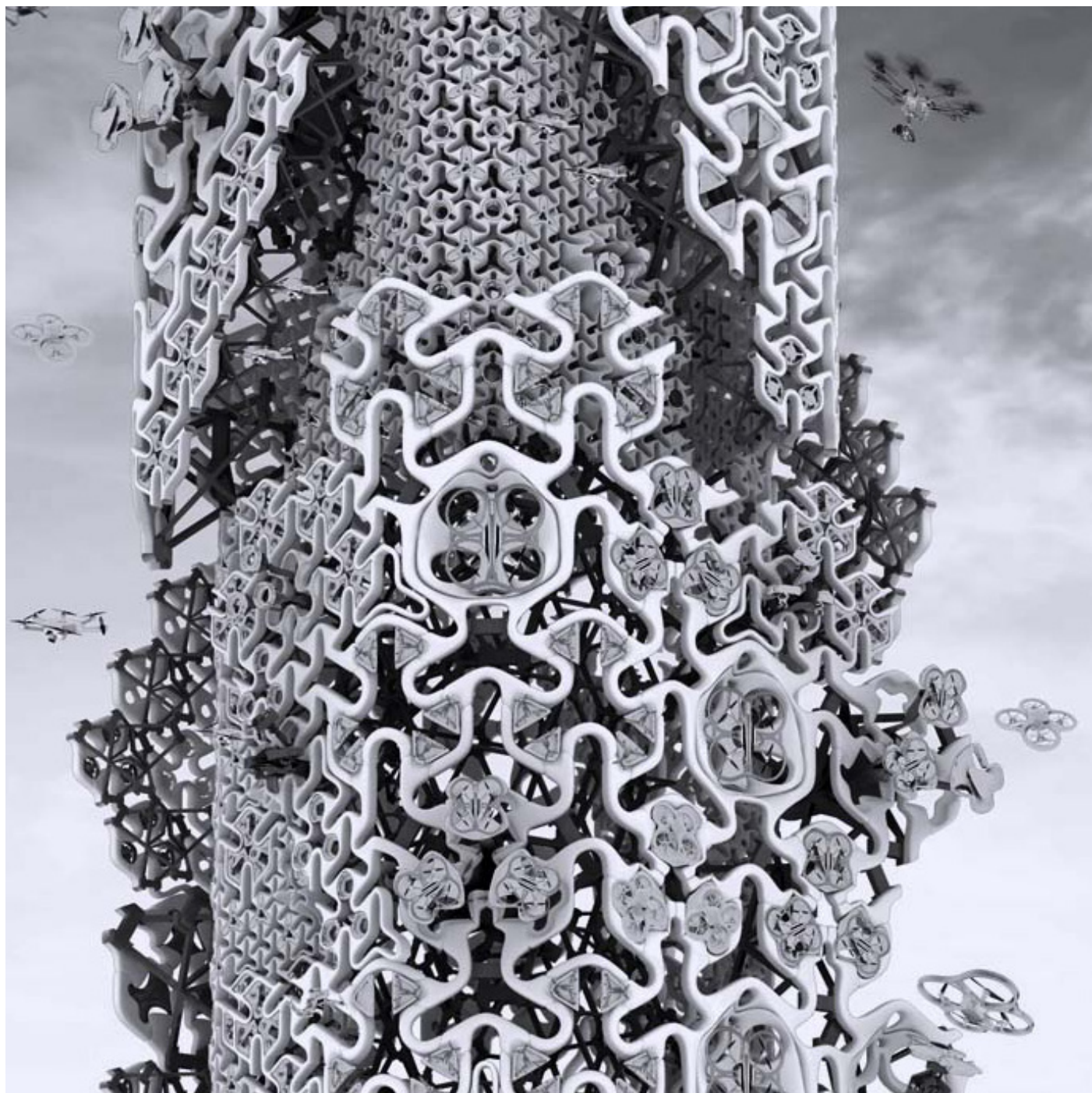
### 6.3 Considerações Finais

Com base nos rápidos avanços tecnológicos, a indústria automóvel é considerada uma das mais avançadas, devido à utilização massiva de robótica que é fundamental para a produção. Esta automatização da indústria deveu-se à necessidade de responder ao aumento do mercado, baixando os custos de produção.

À semelhança da indústria automóvel também as indústrias: naval; de componentes informáticos; e as do calçado também se desenvolveram muito devido à introdução da robótica e das novas tecnologias, pelos mesmos motivos apresentados relativamente à indústria automóvel.



Fig.25 - Produção da marca Morgan Motor, Morgan Motor, 2014. (automobiliac.com, 2017, 8)



# 3

## NOVAS TECNOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO

Robots e Drones

---

O presente capítulo debruça-se sobre: o braço robótico e sua utilização na Indústria e a utilização dos drones para fins militares e para fins civis. A análise destas tecnologias permite tirar ilações sobre o seu uso em construção de edifícios. Referem-se ainda algumas técnicas de Fabricação Digital que são complementares às técnicas de montagem digital que se investigam neste trabalho. Sobre estas técnicas são dados inúmeros exemplos que nos permitem observar as alterações que a introdução da tecnologia veio operar na arquitetura e na construção.

---

No presente capítulo vou analisar sob o ponto de vista técnico as várias formas de construção e fabrico digital que existem na atualidade.

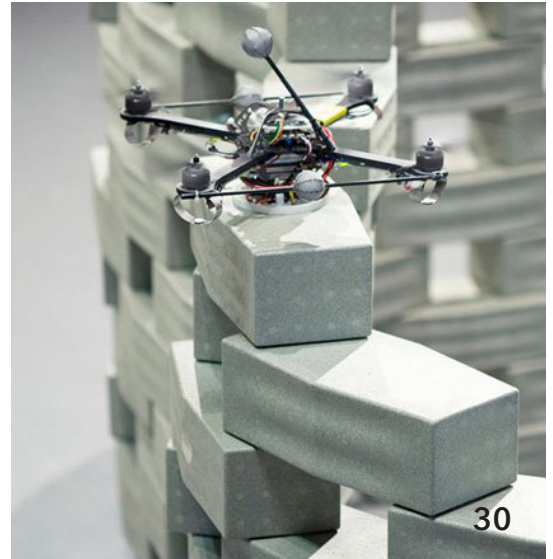
A revolução tecnológica e os consequentes progressos que esta tem permitido realizar, tornaram a nossa sociedade dela dependente para a produção de bens em grandes quantidades com custos reduzidos.

Com a necessidade de aliar a fabricação ao “design”, foram desenvolvidas máquinas, com capacidade de, partindo de uma criação de um “objeto virtual”, executado num computador, o transformar num objeto real. Destas máquinas, salientamos os processos de produção subtrativos com as fresadoras e os processos aditivos com as impressoras 3D, que produzem objetos desde simples a bastante complexos. Para além destas tecnologias para produção de produtos, que já se encontram bem implementadas no mercado, temos também outras que podem auxiliam na montagem destes. Destas últimas destacamos os braços robóticos e os drones que serão analisadas em maior detalhe no capítulo seguinte.[Fig. 27,28 e 29]

No desenvolvimento do presente capítulo vamos apresentar a tecnologia inerente aos Braços Robóticos e aos Drones e o modo como estas tecnologias têm vindo a evoluir e a ganhar espaço na construção de edifícios. Vamos ainda apresentar as cinco técnicas de fabricação digital aplicáveis à construção civil, que trazem para esta ganhos de tempo, custo e rigor.



**Fig.27** - FABRICATION CHI SE, ZHANG Peili, 2017. (archisearch.gr, 2017, 8)  
**Fig.28** - Fabclay: robot a produzir coluna por um processod e adição, kuka robot, Sasa Jozic, 2012. (designboom.com, 2017, 8)  
**Fig.29**- Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)



## 3.1. O Braço Robótico

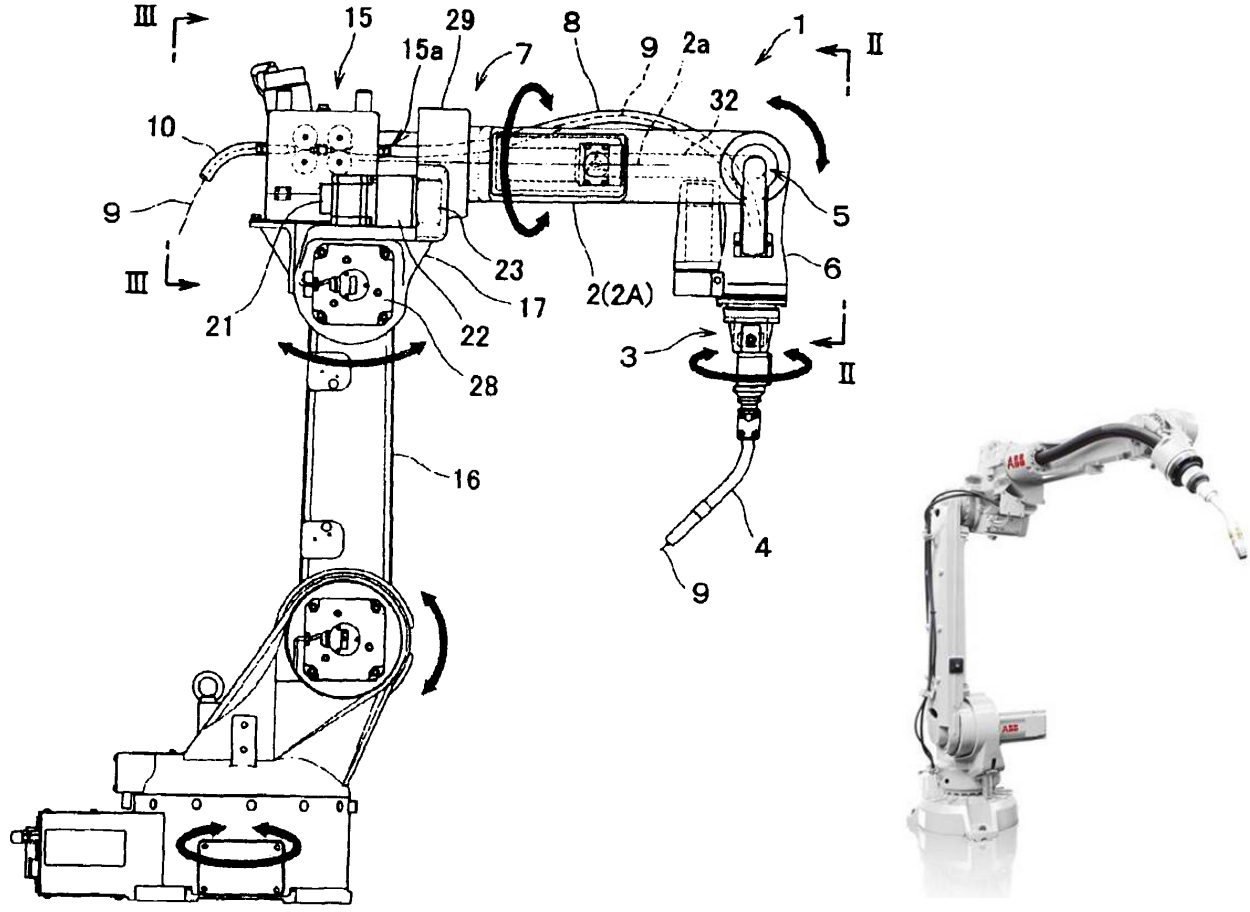
### 3.1.1 Tecnologia

O braço robótico é um robot programado para funcionar como um braço humano, capaz de executar várias tarefas desde montar, cortar, esculpir, entre outros, podendo funcionar autonomamente, ou ser parte de um sistema, dum robot mais complexo. Este tipo de robot é um manipulador programável, composto por segmentos rotativos ou lineares conectados entre si, permitindo que todos os movimentos possam ser controlados com precisão. [Fig.30] Tal como definido por Harris no seu artigo, "How robots Work" e pela NASA:

*"Much like a human arm, the robotic arm has flexibility through three joints: the rover's shoulder, elbow, and wrist." (JPL, 2017)*

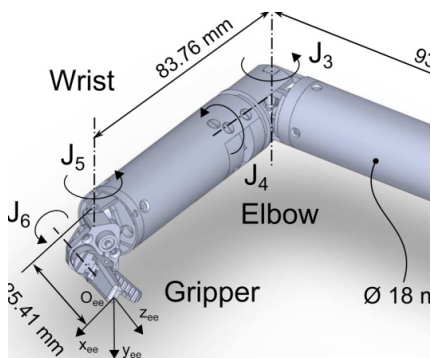
*"A typical robotic arm is made up of seven metal segments, joined by six joints. The computer controls the robot by rotating individual step motors connected to each joint (some larger arms use hydraulics or pneumatics). Unlike ordinary motors, step motors move in exact increments (check out Anaheim Automation to*

Fig.30 - Grau de liberdade física do braço robótico, (fotoseimagenes.net, 2017, 8)





**Fig.31** - 3ds kuka mechanical arm, kuka, Keepsake, 2017. (indiamart.com, 2017, 8)



**Fig.32** - Grau de liberdade física do braço robotio, (fotoseimagenes.net, 2017, 8)

*find out how). This allows the computer to move the arm very precisely, repeating exactly the same movement over and over again. The robot uses motion sensors to make sure it moves just the right amount.” (Harris, 2017)*

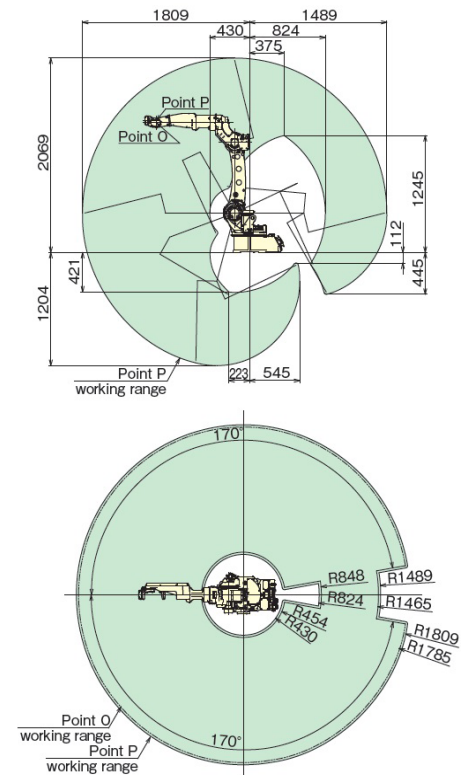
Atualmente existem vários tipos de braços robóticos, uns mais flexíveis e precisos que outros, como por exemplo os braços articulados capazes de se mover em até seis eixos, uns maiores e com maior alcance que outros, e outros com maiores capacidades de carga que outros. [Fig. 31 e 32]

Na extremidade do braço robótico existe normalmente uma ferramenta, capaz de mover, posicionar e manipular objetos, que pode ser adaptada/alterada de modo a cumprir as mais variadas tarefas, podendo inclusive ter uma fresa, para cortar, ou um tubo, para depositar material, agindo assim como uma fresadora ou a uma impressora 3D respetivamente. Ao contrário de uma fresadora com 2 ou 3 eixos ou de uma impressora 3D normal, o braço robótico tem a vantagem de se mover em vários eixos, facto que o possibilita executar geometrias mais complexas. Como explicado no artigo “What is a robot arm?” da empresa RobotWorx:

arm is comprised of segments connected by rotary and linear joints. These joints allow for controlled movements. Tasks that utilize robot arms depend on accuracy and repeatability. These applications typically require repetitive motions.

There are several types of robot arms. The most flexible design is articulated and has between four and six axes. Articulated robot models boast a variety of work envelope sizes and maximum payload capacities. Tooling is attached to the end of the robot arm to move, position, and otherwise manipulate a part. The work envelope is the area a robot arm can reach within its normal range of motions. Maximum payload is the highest amount of weight a robot arm can safely carry and manipulate. It includes the weight of any additions to the robot arm, including the tooling.” (Anona, 2017).

O braço robótico apresenta algumas limitações, nomeadamente quando há necessidade de criar construções de grande escala, em virtude de estar cingido a uma espécie de caixa de trabalho ou “work envelope”, ou seja está cingido a uma distância máxima que pode alcançar, bem como a uma carga máxima que pode suportar com a máxima segurança. Esta inclui o peso de quaisquer adições ao braço robótico incluindo as ferramentas (Anona, 2017) [Fig. 33]



**Fig.33** - Grau de liberdade física do braço robótico, (fotoseimagens.net, 2017, 8)



**Fig.34** - CISCO "ROBOT ARM", David Rosenbaum, 2016. (digitaldomain.com, 2017, 8)



**Fig.35** - robots para cadeias de montagem, robotaprogrammings, 2017 (robotaprogrammingsl.com, 2017, 8)

### 3.1.2 Utilização na Industria

Estes tipos de robots podem executar as mais variadas tarefas como soldar, e montar, grandes elementos como cascos de navios e porções de parede, ou pequenos elementos como componentes eletrônicos de dimensão mínima. Podem ainda "imprimir" objetos 3D; esculpir; cortar; desenhar; pintar; marcar, entre outras, com resultados mais rápidos, consistentes e precisos, que a mão humana. [ Fig. 34 e 35] De acordo com Harris no seu artigo, "How robots Work" e com a definição da RobotWorx:

*"Most industrial robots work in auto assembly lines, putting cars together. Robots can do a lot of this work more efficiently than human beings because they are so precise. They always drill in the exactly the same place, and they always tighten bolts with the same amount of force, no matter how many hours they've been working. Manufacturing robots are also very important in the computer industry. It takes an incredibly precise hand to put together a tiny microchip."* (Harris, 2017)

*“Heavy-duty articulated arms perform applications such as spot welding and automotive assembly. They deliver consistent results with pinpoint accuracy. Smaller tabletop arms are integrated into material handling applications such as electronic assembly. The versatile mid-range robot arms perform other applications, such as arc welding and painting.” (Anona, 2017)*

Os braços robóticos têm capacidade de desempenhar as mais variadas tarefas com grande precisão, sendo muito utilizados e programados para serem utilizados nas linhas de montagem da indústria automóvel, por esta requerer movimentos repetitivos e precisos, tais como agarrar um objeto num local específico, e colocá-lo noutra num local preciso.



**Fig.36** - Drone DJI Phantom 4 Pro, DJI, 2017. (worten.pt, 2017, 9)

## 3.2. Os Drones

### 3.2.1 Tecnologia

Os Drones são veículos não tripulados, que se podem deslocar por ar, mar e terra, podendo ser comandados manualmente através dum controlo remoto, ou programados recorrendo a sistemas integrados de



**Fig.37** - TYPHOON H PRO, UAS-Global, 2017. (uas-global.com, 2017, 9)

guiamento digital complexos, podendo recorrer a sensores, radares e satélites de geo-posicionamento isolada ou em conjunto. O nosso ensaio de tese é dedicado em especial aos drones aéreos, muito embora faça uma breve referência aos outros tipos de drones, como forma de exemplo da vasta aplicação que esta tecnologia tem, e virá a ter no futuro em todos os domínios. [Fig. 36 e 37] De acordo com a definição de Margaret Rouse no seu artigo, Drone (unmanned aerial vehicle, UAV):

*“A drone, in a technological context, is an unmanned aircraft. Drones are more formally known as unmanned aerial vehicles (UAVs) or unmanned aircraft systems (UASes). Essentially, a drone is a flying robot. The aircrafts may be remotely controlled or can fly autonomously through software-controlled flight plans in their embedded systems working in conjunction with onboard sensors and GPS.” (Margaret Rouse, 2017)*

### 3.2.2 Utilização dos Drones pelos Militares

Os drones começaram inicialmente a ser desenvolvidos para utilização militar tendo as primeiras experiências sido realizadas utilizando plataformas



aéreas. Por essa razão receberam a designação de UAV's, (unnamed aerial vehicles), ou UASs, (unnamed aircraft systems).

O primeiro UAV foi o Havilland DH82B "Queen Bee" biplano em 1935 [Fig. 39], equipado com radio e "servo-operated controls" no banco traseiro, posteriormente foram usados UAVs como alvos para a prática de tiro de mísseis anti- aéreos. Segundo Rouse o Havilland: (2017)

*"(...) could be conventionally piloted from the front seat, but, generally, the plane flew unmanned and was shot at by artillery gunners in training. The term drone dates to this initial use, a play on the "Queen Bee" nomenclature."* ("Margaret Rouse, 2017)

No último quartel do século XX e até aos dias de hoje, os UAVs tiveram uma grande evolução tendo passado a ser usados como plataformas aéreas, sistemas de armas, com capacidade de executar a maioria das missões, estratégicas e táticas, anteriormente executadas pelas Forças Aéreas dos diversos estados, com ganhos de eficiência e eficácia e diminuindo o risco de baixas. Prevê-se que num futuro próximo nos diversos teatros



**Fig.38** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)

de operações estas plataformas, sistemas de armas, substituam todas as plataformas tripuladas. ( Pereira da Silva, 2014, pp. 280-281; Joyner, 2014, p.6)

O drones militares possuem atualmente grandes capacidades de carga, grande autonomia de voo/ bateria e um grande raio de ação, podendo atingir grandes dimensões, de que é exemplo o MQ-9 Reaper, um grande drone, com 11m de comprimento, 20m de envergadura, 3,81m de altura e com uma grande autonomia de voo, dado que é desenvolvido como avião espião e de ataque ao solo, podendo inclusive ser utilizado noutras missões tais como vigiar fronteiras, e territórios inimigos. (U.S. Air Force, 2017; Daily Mail, 2017)

No âmbito militar, o uso de drones nos teatros de operações é explicitado pelo Coronel Nuno Pereira da Silva no seu artigo "A Ética do militar no Século XXI e por James Joyner no seu artigo "The US Military's Ethics Crisis" como: ( Pereira da Silva, 2014, pp. 280-281; Joyner, 2014, p.6)

*"Uma panóplia de tecnologias disruptivas começam a aparecer intensivamente nos teatros de operações nas últimas décadas.*



Fig.39 - Havilland DH.82 "Queen Bee", UK Military, 2007. (dehavillandmuseum.co.uk, 2107, 8)



Fig.40 - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)



**Fig.41** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)

*Na intervenção militar no Iraque os “Robots” como a finalidade de inactivas explosivos efectuar desminagem, começaram a aparecer, no início em número muito reduzido, sendo que para o final já existiam em grande quantidade, dado terem-se revelado muito eficazes poupando inúmeras vidas humanas.*

*Na intervenção militar no Afeganistão, o mundo começou a ter notícias pelos “media” do uso intensivo de UAVs, utilizando quer para efectuar reconhecimento, quer para bombardeamento sobre alvos terroristas muito específicos e começou a temer pela sua utilização.” (Pereira da Silva, 2014, pp. 280-281)*

*“Some people worry about the use of drones – Un-named aerial vehicles – in the warfare. Other are concerned about potential development of lethal autonomous robots that are programmed to identify, track, and destroy target and people without a human decision-maker in the loop.” (Joyner, 2014, p.6)*

Em terra têm sido utilizados, na guerra da Síria drones para substituir alguns veículos de combate, vulgo designado por tanks, por veículos não tripulados, a uma maioria comandados por controlo remoto. Estes drones poderão, a médio prazo, substituir alguns

sistemas de armas terrestres implicando que haja menos baixas de pessoal, Estes Drones terrestres estão ainda a ser testados nos últimos conflitos, encontrando-se muito mais atrasados em relação aos UAVs. Para alguns militares a utilização destas tecnologias levanta alguns problemas no âmbito da ética e da própria deontologia. Como introduzido por Will Stewart no seu artigo sobre o conflito na Síria:(Anonb, 2017; Joyner 2014, p.6; Pereira da Silva, 2014, pp. 280-281)

*“A close ally of Vladimir Putin announced this week that the T-90 - a staple of Russia’s army with some 20 years of service - will be refitted so that it doesn’t need physical drivers. Instead the tank will become the ground-based equivalent of a drone, controlled from a distance by operators in no physical danger.” (Daily Mail, 2017)*

O drones para a industria militar, são desenvolvidos com grandes capacidades de carga, grande autonomia de voo/bateria e área de intervenção, podendo atingir grandes dimensões, como é o caso do MQ-9 Reaper [Fig. 38, 40, 41 e 42] , um grande drone, com 11m de comprimento, 20m de envergadura, 3,81m de altura e com uma grande autonomia de voo, dado que é desenvolvido como avião espião e de ataque ao solo,



**Fig.42** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)

podendo inclusive ser utilizado noutras missões tais como vigiar fronteiras, e territórios inimigos. (U.S. Air Force, 2017; Daily Mail, 2017)

### 3.2.3 Utilização de Drones para fins civis

O uso desta tecnologia, nos últimos anos, tornou-se cada vez mais comum, podendo ser aplicada em diversos domínios, que não exclusivamente militares, nomeadamente e a título de exemplo: na investigação; em missões de salvamento; em trabalho de reconhecimento ou mapeamento; na monitorização do trânsito; na meteorologia; em fotografia e cinema; em entregas de material em locais de difícil acesso; na aviação comercial e mais recentemente estão a ser adaptados à condução de viaturas automóveis. Como referido por Margaret Rouse no seu artigo:

*“The integration of drones and internet of things technology has created numerous enterprise use cases; drones working with on-ground IoT sensor networks can help agricultural companies monitor land and crops, energy companies survey power lines and operational equipment, and insurance companies monitor properties for claims and/or policies.” (Margaret Rouse, 2017)*



Fig.43 - Homem e Drone, 2016. (droneinfluence.com, 2017, 7)

Gostaríamos no entanto de destacar alguns exemplos recentes de utilização de drones para fins civis, dada a sua relevância. Nos finais de 2012, a empresa D robotic Inc., tornou-se numa das primeiras a especializar-se no desenvolvimento e comercialização de drones para uso pessoal. Esta empresa utilizou tecnologia militar, já desenvolvida para efetuar a vigilância do Campo de Batalha, adaptando-a a fins civis e colocando nas plataformas aéreas que fabricou. Estas plataformas permitem levar máquinas de fotografar e filmar e foram inicialmente utilizados por grandes companhias de segurança para efetuarem vigilância a grandes infra-estruturas. Em 2013 a empresa Amazon tornou-se numa das primeiras organizações a anunciar a criação de uma plataforma de entregas, executadas com recurso a drones. Este projeto foi seguido, em 2016, por outro projeto, liderado pelo instituto Politécnico da Virginia, o Project Wing, para fazer entregas de comida “burritos” com drones. Como podemos perceber pelo artigo de Elizabeth Howel, no seu artigo para a space.com, e por Margaret Rouse:(Anonb, 2017; Margaret Rouse, 2017) [Fig. 43]

*“Certain companies are also considering sending out drones to do deliveries, which could reduce the cost of using drivers for door-to-door service. Amazon*



*is advertising a future service called "Prime Air," which is intended to send deliveries to customers in 30 minutes or less. They have written a letter of application to the FAA for this service." (Anonb, 2017)*

*"Project Wing has conducted thousands of test flights in private airfields with a prototype drone that can fly efficiently for long distances and deliver packages safely and precisely. Now, under realistic delivery conditions at Virginia Tech, researchers will study vehicle performance, operational details, and navigational accuracy. The flights will also offer insights into a customer's experience of receiving food delivered by air." (Margaret Rouse, 2016)*

Atualmente encontramos este tipo de tecnologia em diversos locais, com inúmeros formatos, dimensões e meios de deslocação, dependendo do fim para que são concebidos, da sua capacidade de carga, dimensão e velocidade.

Os drones para uso civil, normalmente apresentam-se em três dimensões predefinidas: miniatura; médios; e de grandes dimensões ou profissionais. (Karp, 2017)

Os drones miniatura [Fig. 44], são de dimensões muito reduzidas cabendo na palma da nossa mão, estes drones são normalmente quadricopteros e



**Fig.44** - Drone miniatura, CHEERSON CX-10, Cheerson, 2016. (dronesglobe.com, 2017, 7)



**Fig.45** - Drone médio, Akaso X5C, AK-TE-CH, 2017. (amazon.com, 2017, 8)



**Fig.46** - Drone Profissional, DJI Inspire 1, DJI, 2017, (drohnen-vergleich.net, 2017, 8)

hexacopteros, de acordo com o número de rotores, sendo normalmente utilizados indoor, tendo a vantagem de poderem trabalhar em locais de pequenas dimensões. Devido às suas reduzidas dimensões são normalmente usados como hobby, por não serem capazes de suportar o peso de uma maquina de filmar ou fotografar. (Karp, 2017)

No que diz respeito aos drones de dimensão média [Fig. 45], estes têm normalmente o dobro do tamanho dos drones anteriores, ou mesmo ligeiramente maiores (normalmente 15X15cm). (Karp, 2017)

Os drones de dimensão média são normalmente mais fortes e capazes de voar no exterior do que os de pequena dimensão, suportam melhor as múltiplas variáveis de voo ao ar livre (força do vento, obstáculos, entre outros), embora com alguns condicionalismos, e podem carregar mais peso, sendo normalmente usados para elevar uma câmara de filmar e fotografar, ou outros pequenos pesos. (Karp, 2017)

Os drones de grandes dimensões, de uso profissional [Fig. 46], são os maiores que encontramos no mercado civil (de 30 a 40 cm de diâmetro, ou maiores), tendo capacidade: de voar no exterior sem condicionantes, podendo voar com ventos mais forte; e de carregar

objectos mais pesados, como câmaras ou os mais diversos objectos maiores e mais pesados, de que é exemplo o projecto Amazon Prime Air, que ainda em fase de testes, consiste num sistema de entregas efectuadas por drones, comandados à distancia, capazes de entregar encomendas, de até 2 kilogramas, ao domicílio num espaço de tempo igual ou inferior a trinta minutos. (Amazon, 2017; Karp, 2017)

O raio de ação dos drones varia de acordo com a forma como estes são comandados, se forem comandados manualmente alcançam um raio máximo de 1,5 quilómetros (por ser obrigatório o permanente contacto visual), contudo se recorrermos a um Export System, podem atingir um raio de 50 quilómetros, atingir uma altitude de 200 metros, e uma velocidade de 50mph, como é referido por Nick Heath: (HEIGHT TECH, 2017; Heath, 2017)

*“Typically, high-end quadcopters like the DJI Phantom 3 Pro Professional can only fly for about 25 minutes and at no more than 50mph. A German company airstier is hoping to overcome some of these restrictions by building a drone powered by a combustion engine, rather than batteries.” (Heath, 2017)*



**Fig.47** - Renderização: Drones in the city, 2013. (es.gizmodo.com, 2017, 9)

No que diz respeito ao tempo de voo, este varia entre 5 e 40 minutos, dependendo de diversos factores: Baterias, tarefas a executar em voo, velocidade do vento e peso líquido da carga, sendo que quanto mais forte for o vento e/ou maior for o peso, maior será a compensação, força aplicada pelo drone, e menor será o tempo de voo.

Os drones atualmente são capazes de elevar objectos de vários tamanhos e feitios, contudo dependendo das suas características e o fim a que se destinam, podem elevar pesos entre 1 kg e 20kg. (Dronelli, 2017; HEIGHT TECH, 2017) [Fig. 47]

### **3.3. Máquinas com capacidade de Fabricação Digital**

Para além das tecnologias referidas anteriormente existe atualmente um variado número de máquinas usadas para a fabricação digital e que recorrem, cada uma, a uma diferente técnica. Apesar deste trabalho se focar nas técnicas de montagem de peças e não de fabricação dessas mesmas peças, o facto de algumas técnicas se basearem no uso de equipamentos semelhantes, fez com que se optasse por fazer um breve resumo destas outras técnicas. De modo a melhor analisar a panóplia de técnicas existentes de fabricação digital, vamos recorrer à classificação de Lisa Iwamoto que as divide por cinco técnicas, nomeadamente: Secionamento ou subtração (sectioning); Tecelagem (tessellating); Dobragem (folding); Escultura (contouring); Formação (forming).

#### **3.3.1 Seccionamento ou subtração (sectioning)**

Este processo pode ser considerado como um



**Fig.48** - Digital Wave, University of California, 2016. (universityofcalifornia.edu, 2017, 7)



**Fig.49** - Metropol Parasol Las Setas de Jürgen Hermann Mayer, Sevilla, Víctor Zamora, 2012. (panoramio.com, 2017, 8)

método de desenhar o perfil de um objeto sobre uma superfície plana, não criando matéria, mas sim seccionando um material, segundo uma forma específica previamente pensada e desenhada. Este método de fabricação digital, aliada aos novos software de criação arquitetônica, torna possível passar um objeto virtual para a realidade simplesmente, recorrendo a uma serie de secções paralelas, com um espaçamento predefinido, cortadas sobre um material por uma máquina de corte laser ou uma fresadora CNC, que quando corretamente montadas, criam a forma projetada. De acordo com Nigel Dunn no seu livro "Digital Fabrication in architecture":(Iwamoto, 2009, pp. 5-6; Dunn, 2012, p.158) [Fig. 48 e 49]

*"Sectioning is a method of profiling components in relation to a surface geometry. By taking a series of sectional cuts through a digital model, it offers a quick and effective way of gathering the necessary data to inform a CAD/CAM process."* (Dunn, 2012, p.158)

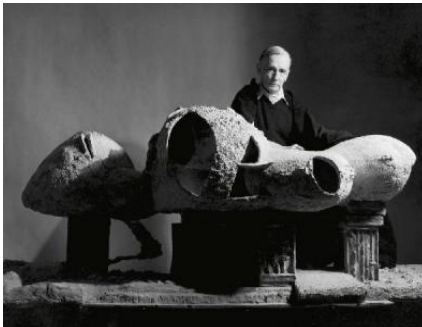
Este processo de fabricação, ao longo da história tem sido aplicado em várias indústrias como forma de pensar, projetar, e construir, como é o caso da indústria naval e aeronáutica de forma a criar formas curvas no

desenho dos seus produtos, sendo estas definidoras de secções estruturais para as asas de aviões e cascos de navios. Segundo Lisa Iwamoto:

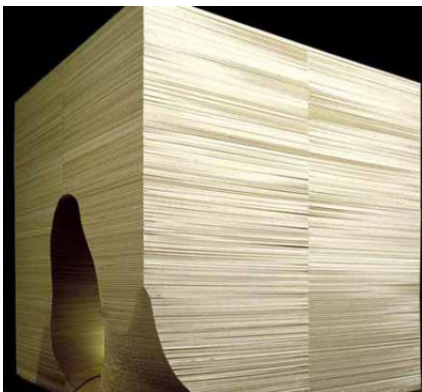
*"While it is distinctly within the domain of digital techniques, sectioning has a long history in the construction industry. It is commonly used in airplane and shipbuilding to make the doubly curving surfaces associated with their respective built forms. Objects such as airplane bodies and boat hulls are first defined sectionally as a series of structural ribs, then clad with a surface material." (Iwamoto, 2009, p. 5)*

A relação desta tecnologia com a arquitetura é recente apesar de esta refletir *"a much longer tradition in shipbuilding and aeroplane construction. In these contexts, the form of the object is defined as a series of sections that are subsequently clad with a material or skin." (Dunn, 2012, p.158)*

De acordo com Iwamoto (2009, pp. 5-6), no campo da arquitetura podemos encontrar este processo de pensamento e criação em alguns arquitetos como Le Corbusier, e.g. na cobertura da Chapel de Ronchamp que este idealiza como uma asa de avião que é



**Fig.50** - Endless House de Frederick Kiesler, 1960. (archdaily.com, 2017, 8)



**Fig.51** - Mafoombey de Martti Kalliala, 2012. (iiarquitectos.com, 2017, 9)

desenhada e construída através de uma série de vigas estruturais de betão armado atadas lateralmente por outras vigas.

Outro exemplo é o caso de Frederick Kiesler no seu projeto *Endless House*, entre outros, que utilizam esta técnica como forma de criar tanto superfícies como estruturas. [Fig. 50]

Ainda outros exemplos atuais, criadas tanto no âmbito académico como artístico, são exemplo a *Digital Wave*, desenvolvida pela universidade da California University of California, *Mafoombey* de Martti Kalliala, Esa Ruskeepaa, with Martin Lukasczyk para o concurso da Universidade de arte e design de Helsinki 2005 [Fig. 51], entre outros. (Iwamoto, 2009, pp. 5-6; Dunn, 2012, p.158)

### 3.3.2 Tecelagem (tessellating ou tiling)

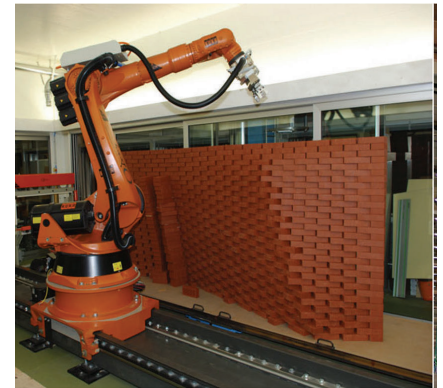
O processo de tecelagem consiste na criação de várias peças que encaixam umas nas outras perfeitamente quando montadas, criando espaços, formas ou planos, sendo possível a criação de qualquer forma mais ou menos complexa. De acordo com Dunn:



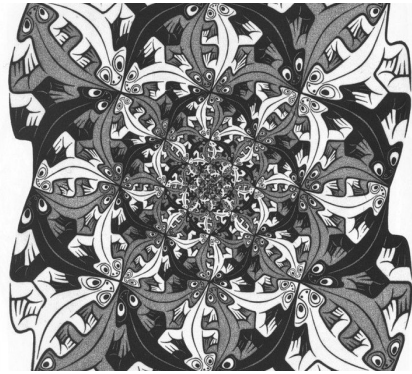
*“The process of tiling, also referred to as ‘tessellating’, involves the development of figures or shapes that when assembled together form a coherent plane without gaps or overlaps. Such tiles may have any geometric shape provided they fit together, even if the tiles change in size and shape across the plane itself.” (Dunn, 2012, p.166)*

Este método pode ser observado no fabrico tradicional em vários países, sendo os “padrões”, p.e. formados por azulejos, que definem uma malha. Podemos encontrar exemplos deste método, na Roma antiga, no Império Bizantino, na decoração islâmica, entre outros, bem como, num exemplo recente, no recém inaugurado edifício em Lisboa o MAAT. Podemos assim considerar que este método, sempre esteve ligado ao modo de pensamento e fabrico em arquitetura, se bem que geralmente associado ao ornamento e ao filtro da luz nos espaços arquitetónicos. Segundo Dunn: (Iwamoto, 2009, pp. 34-35)

*“As with contouring, the history of tiling is long established in traditional manual craftsmanship – producing mosaics, stained-glass windows and other*



**Fig.52** - The informed Wall, Gramzio and kohler, 2016. (idsc.ethz.ch, 2017, 8)



**Fig.53** - Smaller And Smaller, M.C. Escher, 1956. (wikiart.org, 2017, 9)



**Fig.54** - Technicolor Bloom, Brennan Buck, 2008. (dezeen.com, 2017, 8)

*types of surface ornamentation. Time-consuming and labour-intensive, these precedents required the configuration of myriad fragments to form an intricate yet uniform design.” (Dunn, 2012, p.166)*

Os materiais que atualmente utilizamos para a construção, como tijolos, azulejos, mosaicos e janelas são elementos que permitem utilizar esta técnica de tecelagem, já que podem ser utilizados como elementos repetidos indefinidamente. A repetição de elementos permite formar formas e superfícies complexas e, recorrendo a software para criar essas formas complexas, é possível criar formas e alternativas que dificilmente seriam possíveis de explorar manualmente.

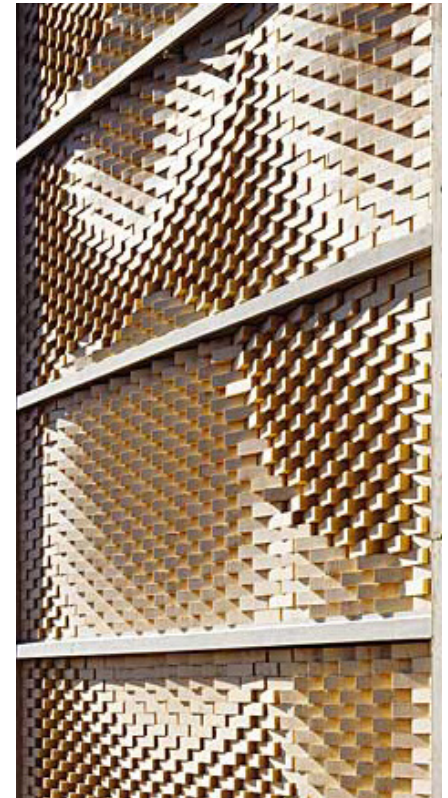
Com a evolução da tecnologia podemos encontrar vários robots capazes de criar formas com a técnica da tecelagem, contudo só os braços robóticos são capazes de montar as mais variadas formas com elementos standard. Por outro lado, recorrendo a fresadoras CNC de 2 ou 3 eixos, corte a laser ou impressoras 3D podemos criar os objetos que podem ser depois montados por drones ou braços robóticos. Ainda de acordo com Iwamoto: (Iwamoto, 2009, pp. 34-35; Dunn, 2012, p.166)

“While mosaics, brick walls, stained-glass windows, and panelized facades can all be considered tessellated, the term can also refer, in digital design, to approximate surfaces, often singly or doubly curved, with polygonal meshes.” (Iwamoto, 2009, p. 35)

Podemos encontrar vários exemplos de processos de tecelagem, quer no campo da arquitetura, de que é exemplo a experiência Domoterre Lounge, o projecto da Winery Gantenbein [Fig. 52 e 55] de Fabio Gramazio e Matthias Kohler, e na obra de Brennan Buck, na qual são criados espaços recorrendo sempre à fabricação digital [Fig. 54], quer no campo das artes plásticas, com o trabalho de M.C. Escher, no qual este cria padrões com as mais variadas formas.[Fig. 53]

### 3.3.3 Dobragem (folding)

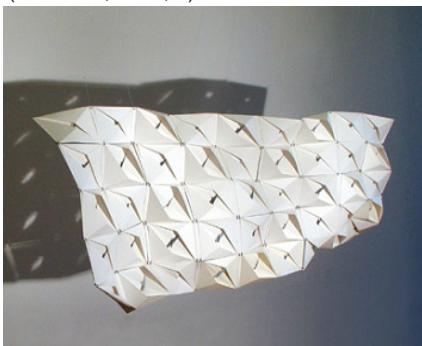
A técnica dobragem é um processo bastante comum na criação de objetos tridimensionais. Este processo consiste na criação de objetos através de dobragens em superfícies bi-dimensionais, tornando-as em objetos



**Fig.55** - Gantenbein Winery, Switzerland, Brick Walls, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2006. (gramaziokohler.com, 2017, 8)



**Fig.56** - Air Force Academy Cadet Chapel de Walter Netsch, Jr., Mark Gerwing, 2009. (flickr.com, 2017, 9)



**Fig.57** - In-Out Curtain, IwamotoScott Architects, 2005. (architizer.com, 2017, 9)

tridimensionais, sem perder as características inerentes dos materiais.

Ao introduzir dobras em materiais planos e com pouca resistência, obtemos formas rígidas que podem, em certos casos suportar-se por si, dando origem a formas complexas com capacidade estruturais. Este processo aliado a máquinas de fabricação digital podem criar as mais variadas formas, como explicado por Dunn: (Iwamoto, 2009, pp. 60-61; Dunn, 2012, p.140)

*"A much more familiar process of developing two-dimensional surfaces into three-dimensional forms is that of folding. In addition to articulating flat sheet materials into formal propositions, folding has rich potential for defining structural geometry. Through folding, the self-supporting effective span and rigidity of sheet materials may increase substantially, offering further design developments."* (Dunn, 2012, p.140)

Encontramos bastantes exemplos de objetos e edifícios que utilizaram esta técnica para criar formas de que são exemplo o Air Force Academy Cadet Chapel de Walter Netsch [Fig.56], e a obra de IwamotoScott's o projeto In-Out Curtain [Fig. 57], sendo o pioneiro no

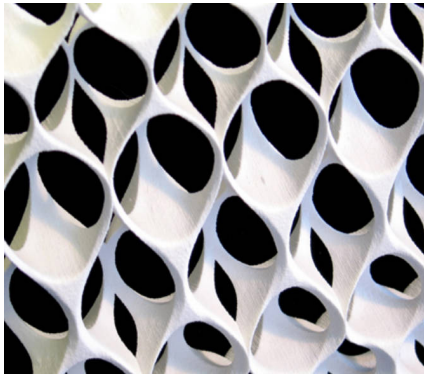
uso desta técnica de fabricação digital o arquitecto Frank Gehry, que a utiliza na criação de todas as suas obras. (Iwamoto, 2009, pp. 60-61)

### **3.3.4 Escultura (contouring)**

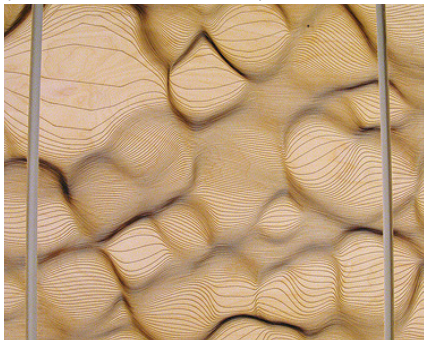
A técnica de Contorno, tal como a técnica de escultura, é um método de subtração, que altera a forma de uma superfície para criar formas, objetos ou relevos através da subtração sucessiva de camadas de um material.

No mercado encontramos os mais variados materiais para a construção, contudo quase todos eles são planos em forma de uma folha retangular. A técnica da Escultura tem a capacidade de alterar a forma física dos materiais usando a técnica de subtração, capaz de atribuir formas tridimensionais a qualquer tipo de material, desde gesso a pedra, definido por Dunn como: (Iwamoto, 2009, pp. 88-89; Dunn, 2012, p.130)

*“Many of the materials used in the production of architecture are processed in or from a sheet format. Whilst they may have radically varying properties – most obviously with respect to colour, texture and thickness – these are essentially planar elements. Contouring*



**Fig.58** - The Bone Wall Installation, Joe MacDonald/Urban A&O Architecture LLC, 2016. (storefrontnews.or, 2017, 9)



**Fig.59** - CNC panels, Jeremy Ficca, 2015. (flickrriver.com, 2017, 9)

*changes this physical materiality by using an incremental subtractive technique, not dissimilar to carving, to provide three-dimensional features from what is ostensibly a 'flat' sheet material." (Dunn, 2012 p. 130)*

Este método tem a capacidade de substituir o trabalho humano no que diz respeito à criação de baixos e altos-relevos e escultura, na criação rápida de elementos da ornamentação, como é o caso da obra de António Gaudí, a Catedral da Sagrada Família em Barcelona, na qual todos os novos elementos da ornamentação são esculpidos "off site", por fresadoras, e depois colocado no seu local devido. Segundo Iwamoto: (Iwamoto, 2009, pp. 88-89; Dunn, 2012, p.130)

*"There is a long history of such wood and stone carving in crafts and architecture practice. Ordered Greek-columns capitals, friezes, rock cut architecture, Jain temples, and myriad other examples, are testament to the productive aesthetic interface between craving a building. While the tradition of this technique is rich, it has nevertheless had limited application in the architecture since the Industrial Revolution, largely because the hand and the machine labor required to produce pieces is variable limited by scale, and cost and time prohibitive.*

*Digital fabrication has enabled architects to transcend*

*the idea that craved resides exclusively in traditional handcrafted practice. in fact, the notion of digital craft is rapidly gaining ground as a way to revive, using contemporary tools, the craved, ornamented, and articulated surface. These tools include CNC routers and mills. which use tool-path data derived from digital models to crave away material systematically as a serie of contours." (Iwamoto, 2009, p. 88)*

Temos exemplos de várias experiências arquitetônicas realizadas utilizando esta técnica de que são exemplo a Bone Wall de Urban A&O [Fig 58], e a CNC Panels de Jeremy Ficca [Fig. 59 e 60], onde o uso de fresadoras para a criação de módulos e a sua montagem cria espaços tridimensionais bastante complexos.

### 3.3.5 Formação (forming)

A técnica de Formação consiste na criação de moldes através dos quais se podem criar múltiplos componentes iguais, sendo normalmente mais aplicada na produção em massa por ser a mais econômica. Hoje em dia encontramos objetos criados utilizando este método



**Fig.60** - Robotic metal forming, Jeremy Ficca, 2015. (flickrriver.com, 2017, 9)



**Fig.61** - Alice, Florencia Pita, 2007. (laxart.org, 2017, 9)



**Fig.62** - "Dark Places", Servo, 2006. (archidose.blogspot.pt, 2017, 9)

em todo o lado, desde computadores, brinquedos, e inclusive elementos arquitetônicos como elemento de fachadas, ornamentação, ferragens. Durante o processo e obra tudo o que é executado em betão utiliza esta técnica, pois é sempre necessário um molde, no qual se verte o betão. Este processo repetido várias vezes é utilizado para criar elementos como lajes, colunas, e vigas. Para a criação de moldes podemos recorrer a vários robots capazes de produzir qualquer forma, como é o caso da fresadora ou a impressora 3D, como referido por Iwamoto e Dunn (Iwamoto, 2009, pp. 106-107; Dunn, 2012, p.148)

*"Forming is tooling through the generation of components from a mould or form, and is most readily applied for the mass production of consumer products. It has been used to make such architectural elements as facade panels, detail components and other hardware."* (Dunn, 2012 p.148)

*"Formed objects are all around us. Packaging, plastic toys, cell phones, car bodies... the list is virtually endless, Because forming employs an inherent economy of means."* (Iwamoto, 2009, p. 106)

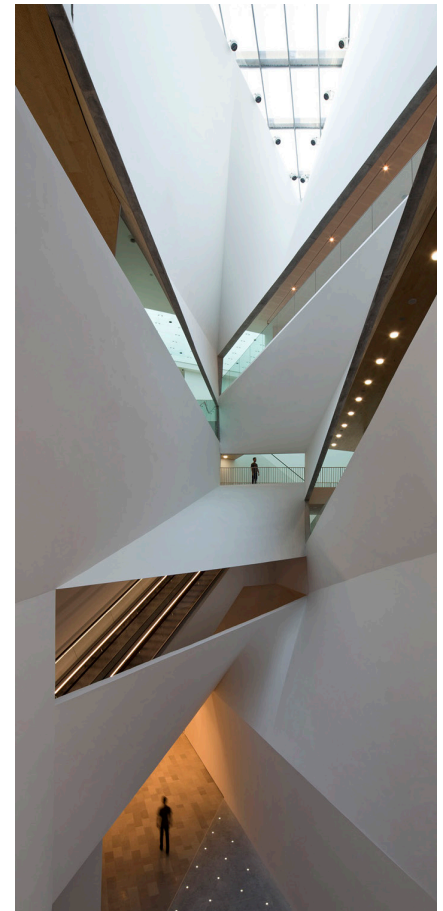
Encontramos vários exemplos de edifícios, experiências espaciais e artísticas que usam esta técnica como forma de "construção" de que são exemplo



instalação "Alice" de Florence Pita no LAXART [Fig. 61], a Instalação "Dark Places" de Servo [Fig. 62] e o Tel Aviv Museum of Art do arquiteto Preston Scott Cohen. [Fig. 63]

### 3.4. Considerações finais

É possível assim concluir que: o uso e evolução dos drones tem potencialidades para que estes possam ser aplicados na construção de modo a tentar participar na resolução de alguns dos atuais problemas. As possibilidades que estas tecnologias trazem permitem: i) construir de modo rápido e sem erros formas complexas dando assim maior liberdade na criação destas formas; ii) promover a criação de novos materiais já que cria uma grande flexibilidade de assemblagem; iii) construir e mesmo pensar e viver a arquitetura numa nova forma; existem várias máquinas capazes de cortar, montar, esculpir e criar formas, cada vez mais complexas e precisas de uma forma mais rápida, recorrendo a técnicas diferentes. Os braços robóticos e os drones podem ser usados em simultâneo, com tarefas diferentes, de forma a criar um edifício como um todo, reduzindo assim os acidentes e acelerando o processo de construção.



**Fig.63** - Tel Aviv Museum of Art de Preston Scott Cohen, Amit Geron, 2011. (architizer.com, 2017, 9)



# 4

## A CONSTRUÇÃO ROBOTIZADA EM ARQUITETURA

Novos Paradigmas

---

O presente capítulo apresenta, como casos de estudo, relacionados com construção usando as novas tecnologias, duas experiências construtivas com drones e duas com braços robóticos nomeadamente os projetos: Flight Assemble Architecture; The Aerial Construction; The informed Wall; e On the Bri-n-ck, três realizados na ETH de Zurique e um em Harvard.

---

A construção robótica que se pretende analisar neste trabalho, conforme referido anteriormente, é aquela auxiliada por drones e por braços robóticos na montagem de componentes de construção.

A utilização de drones no sector da construção tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido essencialmente ao seu uso para técnicas de monitorização e digitalização 3D e fotogrametria. Nestes casos os drones servem para sobrevoar as áreas em projeto e carregam consigo máquinas fotográficas, de video ou sensores. A utilização de drones para auxiliar a montagem de componentes da construção tem tido um avanço muitíssimo mais reduzido e cinge-se a algumas poucas experimentações realizadas por universidades, que procuram explorar de que modo esta tecnologia pode, à semelhança do que acontece noutras indústrias, auxiliar a construção de edificios. No que diz respeito aos braços robóticos, o seu uso para montagem de elementos de construção é igualmente raro e cinge-se a experiências realizadas em âmbito universitário que, por duas ocasiões, foram aplicadas na prática.

No presente capítulo pretende-se apresentar duas experiências efetuadas no âmbito da construção com drones, efetuadas sobre a égide da ETH de Zurique, e duas experiências efetuadas com braços robóticos. Esta exposição permitirá no final discutir a questão inicialmente colocada sobre se será possível no futuro, a curto\médio prazo, aplicar este sistema na

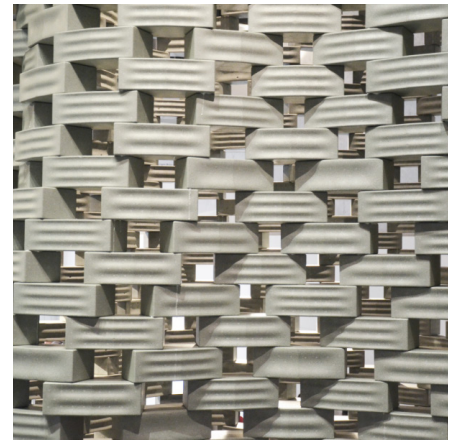
construção de edifícios.

Ao longo do capítulo vai-se responder à pergunta que se formulou inicialmente, sobre se a utilização da tecnologia digital e o recurso integrado à utilização de máquinas/robots, permitirá construir com mais rapidez, menores custos, explorar novas formas e materiais, e permitindo repensar a maneira de projetar em arquitetura.

#### 4.1 Projeto Flight Assembled Architecture

No ano de 2012, o estúdio suíço Gramazio Koehler Architects e o robóticoista Raffaello D'Andrea colaboraram com a ETH de Zurique na programação de uma frota de drones, capazes de levantar e juntar alguns milhares de tijolos, no centro FRAC em Orleães. [Fig. 65]

O projeto apelidado de Flight Assembled Architecture tornou-se pioneiro na construção utilizando exclusivamente drones para a junção das peças. Neste projeto foram utilizados drones para construir uma estrutura de 6 metros de altura por 3 metros de diâmetro, composta por 1.500 elementos paralelepípedicos de poliestireno, material que os tornava mais leves que os tijolos normalmente utilizados na construção. Cada tijolo pesava cerca de 100g e media 10cm de altura, 30cm de



**Fig.65** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8).

comprimento e 15cm de largura. (ETHZ, 2017a; Mirjan, 2013, p. 515; Manaugh, 2017; Mirjan, 2014, p. 46)

Segundo Ammar Mirjan, colaborador do estúdio Gramazio Koehler Architects, o projeto teve como objetivo verificar a exequibilidade da construção de edifícios a curto médio-prazo, recorrendo exclusivamente a drones, sem recurso a mão-de-obra humana. (Hobson, 2015)

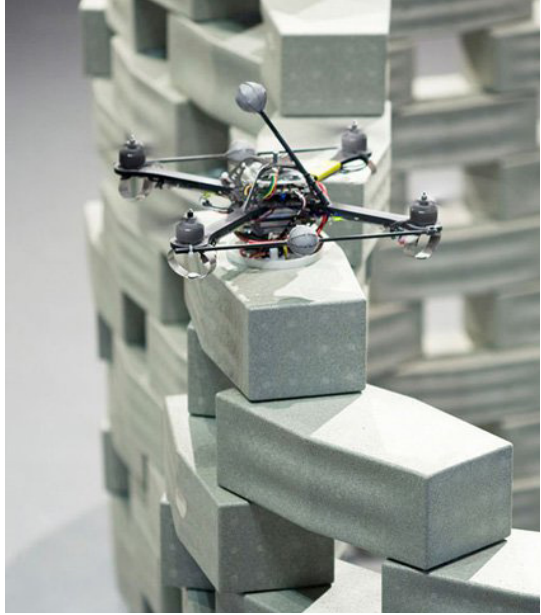
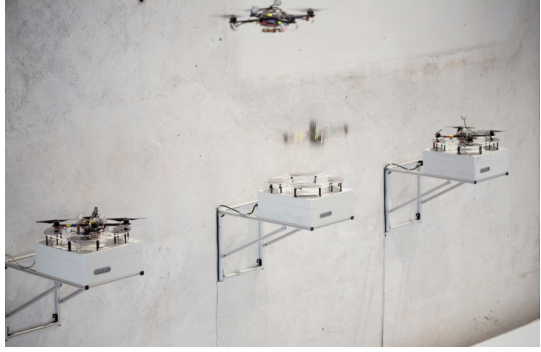
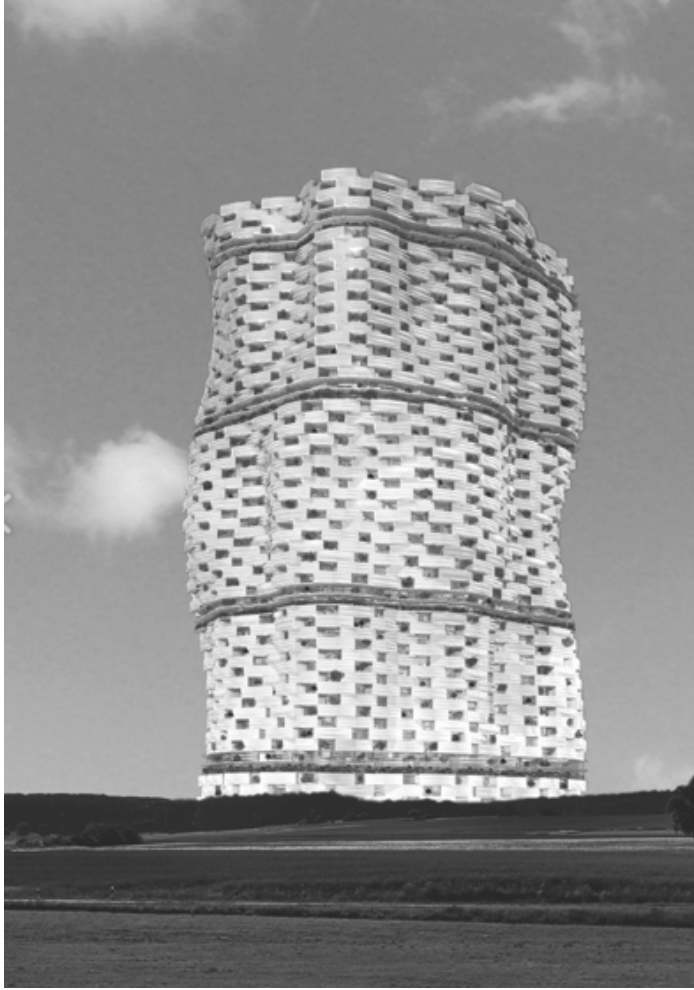
Segundo os autores do projeto, os drones utilizados foram programados como qualquer braço robótico industrial, com a vantagem de permitirem uma maior liberdade de movimentos, facto que poderá permitir no futuro, construir estruturas mais altas e complexas do que aquelas atualmente construídas com os braços robóticos.

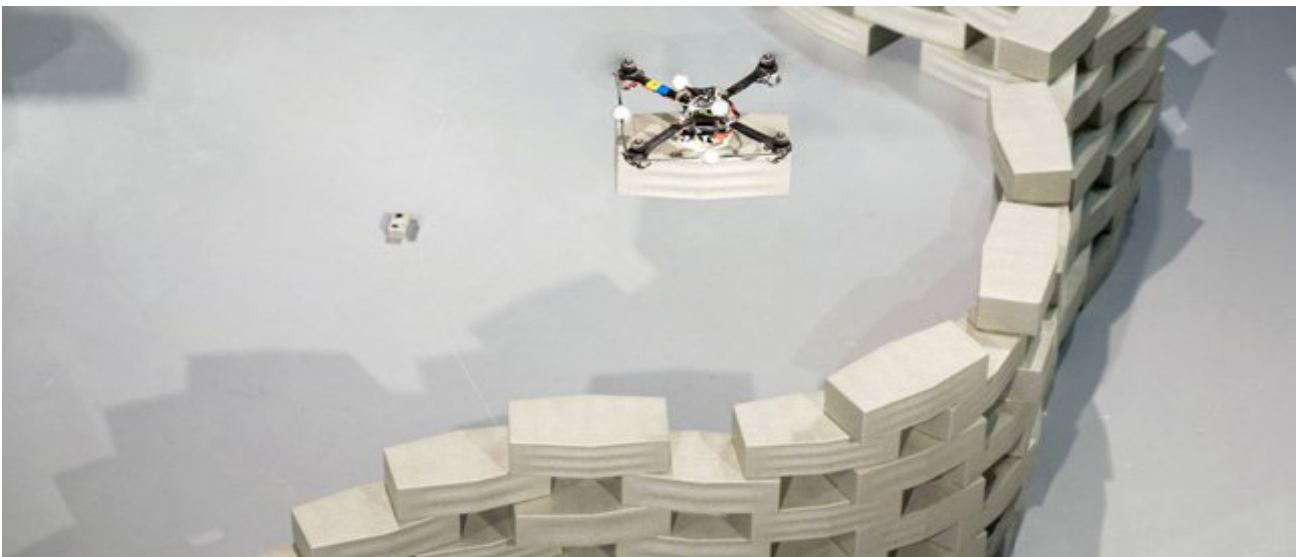
Segundo Mirjan, os drones podem ser considerados como que uma mão totalmente fidedigna, que opera num espaço tridimensional segundo instruções pré-estabelecidas pelo projetista. (Hobson, 2015) [Fig. 67, 68 e 69]

A experiência consistiu na criação de um modelo à escala 1:100 de um edifício de 600 metros de altura. Durante quatro dias, recorrendo a quatro drones, o modelo de 6 m de altura com 1.500 blocos foi sendo construído (ETHZa, 2017). [Fig. 66]

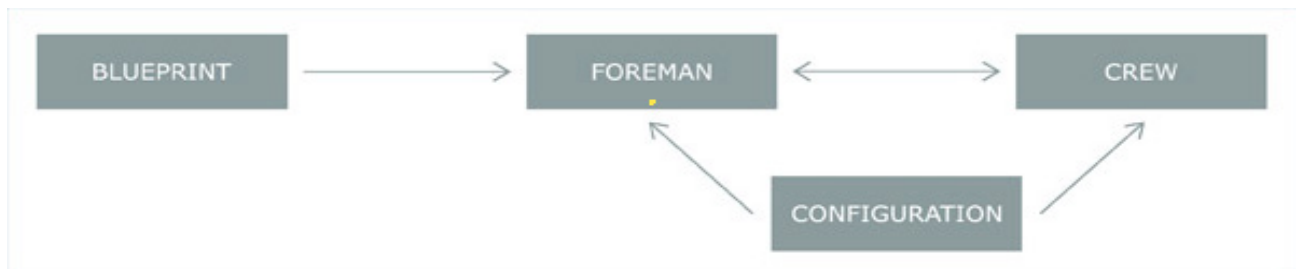
Para a execução deste projeto foram necessários vários elementos tecnológicos como o blueprint, um "capataz" e

**Fig.66; 67; 68-** render do projecto para a torre, drones a posar na base de descaso, drone a colocar os tijolos, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)





**Fig.69** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)



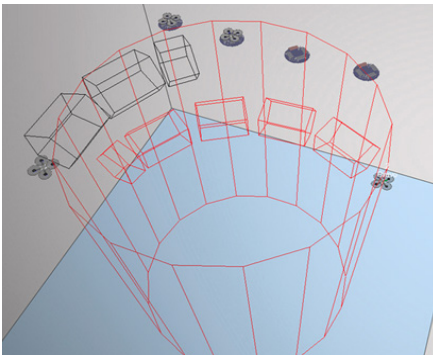
**Fig.70** - Sequenci a de funcionamento do software, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)



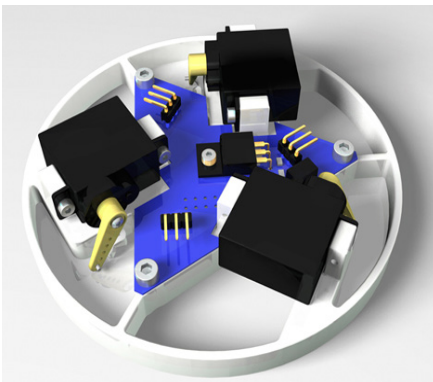
uma equipa de construção. O blueprint consiste num software que contem a informação do local preciso e a ordem com que cada tijolo tem de ser colocado no sítio. O "capataz" gere todo o processo de construção, interpretando a informação do blueprint, dando as ordens à equipa de construção, e informa do progresso a par e por da construção, baseado na informação dada pelos drones. O capataz é ainda o interface de comunicação entre o sistema e o utilizador. Este sistema, informa constantemente do número de drones a voar simultaneamente bem como da evolução do trabalho, expressa em número de tijolos por hora. (ETHZ, 2017a; Gramazio and Kohler, 2016) [Fig. 70]

A equipa de construção é responsável por interpretar as ordens do capataz e construir a estrutura. O subsistema da equipa controla os drones em todos os níveis, incluindo as coordenadas de recarregamento, o planeamento e trajetórias sem colisões, o lugar onde os tijolos estão localizados e onde vão ser colocados, controlando toda a dinâmica dos drones durante o voo.

O ficheiro de configuração contém todos os parâmetros operacionais, como as dimensões do espaço, as definições e propriedades dos materiais de construção, assim como todos os parâmetros relacionados com o comportamento do sistema, tal como as tolerâncias de agarrar e colocar os tijolos, a velocidade de voo, e controla os níveis de bateria. (ETHZ, 2017a; Mirjan, 2014, p. 50)



**Fig.71** - No flight zone, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)



**Fig.72** - Sistema de garra para os drones, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)

As coordenadas de voo sem colisões dão indicações constantemente aos veículos, que utilizam, quando necessário, dois espaços de voo livre que circundam a estrutura. O uso dos espaços livres é controlado por um sistema de reservas de espaço, sendo que cada veículo reserva o espaço necessário para a sua trajetória, antes de a executar, garantindo assim que a trajetória é concluída. Este sistema garante que, quando um espaço é reservado só um drone o pode utilizar, todos os outros devem esperar antes de voarem pelo mesmo espaço. Este sistema pode também ser utilizado para evitar colisões com a torre, sendo que esta é um espaço de voo reservado, ou seja é interdito a qualquer drone planear uma trajetória por entre a torre. (ETHZ, 2017a) [Fig. 71]

Cada drone está equipado com uma pinça especialmente desenvolvida para o efeito, usando três servo-powered pins que perfuram o tijolo, mantendo-o seguro ao longo de todo o trajeto. [Fig 72]

Para uma construção bem sucedida é necessário que a colocação do tijolo seja exata. Foi considerado que a forma mais precisa e fiável de colocar qualquer tijolo é com um drone a voar rapidamente até ao seu lugar, evitando distúrbios externos como turbulência ou colisões. De facto, partindo de uma distância precisa do tijolo, o drone calcula a trajetória para voar com o tijolo a uma velocidade específica algo elevada. Foi verificado que o voo do drone a uma velocidade cujo impacto

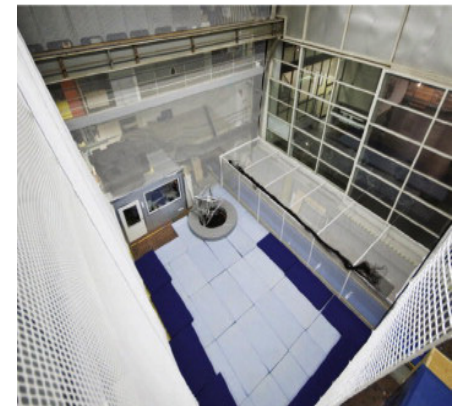
do tijolo com a estrutura é mais baixo e a aterragem mais suave resultava numa maior margem de erro, sendo por isso preferível impactos mais rápidos e agressivos, como afirmam os autores.(ETHZ, 2017a; Mirjan, 2014, p. 60)

## 4.2 Projeto The Aerial Construction

Em 2013 na ETH de Zurique, o projecto The Aerial Construction foi realizado em colaboração entre o Institute for Dynamic Systems and Control e o departamento de Architecture and Digital Fabrication da ETH de Zurique, com o objetivo de investigar e desenvolver métodos e técnicas de construção com recurso a máquinas voadoras.

A experiência foi desenvolvida na “Flying Machine Arena”, um espaço interior de 10x10x10m criado propositadamente para efetuar testes com drones. O espaço é equipado com diversos sensores de captura de movimento, conseguindo por isso geo-localizar constantemente a posição dos drones no espaço. Essa informação passa pelo algoritmo que controla os drones, de modo a que este possa executar a forma digitalmente criada. [Fig 73]

Para tal os drones foram equipados com dispensador de cabos, um rolo sobre o qual os elementos de construção são



**Fig.73** - Flying Machine Arena, 2016. (idsc. ethz.ch, 2017, 9)

enrolados. O atrito provocado pelo voo dos drones foi ajustado de modo a influenciar a tensão do cabo durante o processo de construção. Para a experiência foram utilizadas cordas de poliestileno, Dyneema, com alto peso molecular, destacando-se pela sua baixa relação peso resistência. Uma corda de 100 m de comprimento e 4 mm pesa cerca e 1,1 kg sendo capaz de suportar cerca de 1400 Kg.

A estrutura, montada entre 2 andaimes distantes entre si de 7,5 m, utilizou um total de nove cordas de Dyneema, com um comprimento de 120 m e diferentes elementos como nós e junções. Este método de construção permitiu instalar diferentes tipos de materiais de tração, como cabos, cordas e fios, como expresso pelos autores nas suas publicações: (Mirjan et al ., 2013, p. 516; ETHZ, 2017b) [Fig. 74]

*"Tensile elements, such as cables, are relatively lightweight, have a high structural strength and can span large distances." (Mirjan et al .,2013, p. 514)*

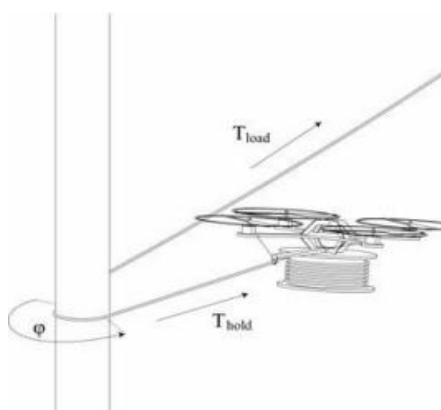
Os drones foram equipados com carretéis monitorizados, permitindo controlar a tensão da corda durante todo o processo de construção. A montagem da corda nos andaimes foi realizada por dois drones que voaram em redor das cordas e da estrutura metálica dos andaimes, como que se tecessem um tecido, colocando os diversos elementos, as cordas, e os cabos ou arames, sujeitos a forças de tensão, unidos por



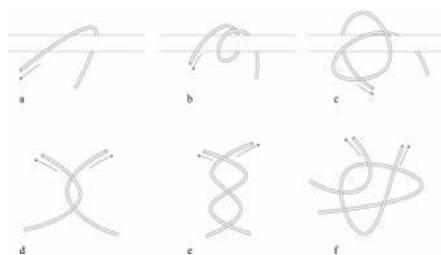
**Fig.74** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.75** - Drone com carrinho automático, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.76** - trajetoria do drone, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.77** - Tipos de nós, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9).

elementos básicos de junção, como nós e uniões, criando as estruturas tensadas. [Fig 75 e 76]

*"Secondly, the force applied to a rope when placing it determines its tension, thus influencing the final shape of a rope segment between two fix connections." (Mirjan et al., 2013, p. 3488)*

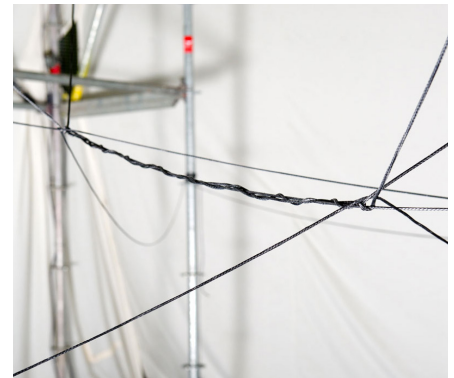
Para a criação deste tipo de estrutura foi necessário definir previamente as junções adequadas, por forma a constituir trajetórias parametrizadas, para que os drones as pudessem seguir. Os nós são o ponto de interseção de 2 cabos, ou entre um cabo e outro objeto, podendo ser fixos ou corrediços, dependendo da situação, sendo por esse facto necessário parametrizá-los previamente. As junções, por seu lado, são consideradas como um elemento linear preso entre dois pontos de suporte estruturais. Os elementos de junção, foram também traduzidos para a trajetória dos drones, que necessitaram de estratégias híbridas de controle da posição de força "de modo a criarem as estruturas tensadas [Fig. 77]. A forma sequencial com que estas foram criadas e a sua junção, permitiram criar a estrutura pretendida, seguindo uma forma digitalmente concebida, facto que permitiu que a execução fosse efetuada com o máximo de precisão, para os autores:

*"Objective of the investigation was the development of a set of building instructions for the vehicles to erect and manipulate tensile building elements. Different combinations of these instructions result in the realisation of different tensile structures. Therefore, we first defined characteristic instructions for the construction and translated them later into trajectories for the quadrocopters." (Mirjan et al., 2013, p. 514)*

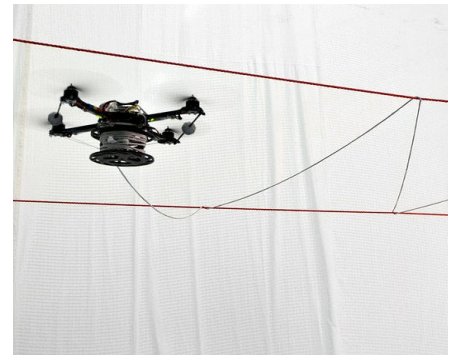
Os drones elevam, colocam e conectam os elementos lineares a objetos existentes no espaço, tais como pilares ou andaimes, sendo a tensão entre os vários elementos dinâmica e flexível, facto que lhes permite reagir aos movimentos que os afetam. A sequência e a trajetória dos veículos influenciam a construção. (Mirjan et al., 2013, p. 514)

No decorrer do processo de construção, foram distinguidos pontos estruturais, estáticos, aqueles de suporte já existentes no espaço, e dinâmicos, ou seja os drones que, guiam a corda de um suporte estático para outro, sendo que as propriedades da junção entre eles, dependem da trajetória do veículo. [Fig. 78 e 79]

Para a execução da experiência foi ainda necessário desenvolver uma programa com capacidades de controlar digitalmente os drones, fazendo com que estes não só comuniquem entre si, como sincronizem as sua trajetórias de modo a que nunca se intercelem, tornando-os capazes de, em conjunto, levantar objetos cada vez maiores e mais pesados. (Mirjan et al., 2013, p. 515)



**Fig.78** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.79** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)

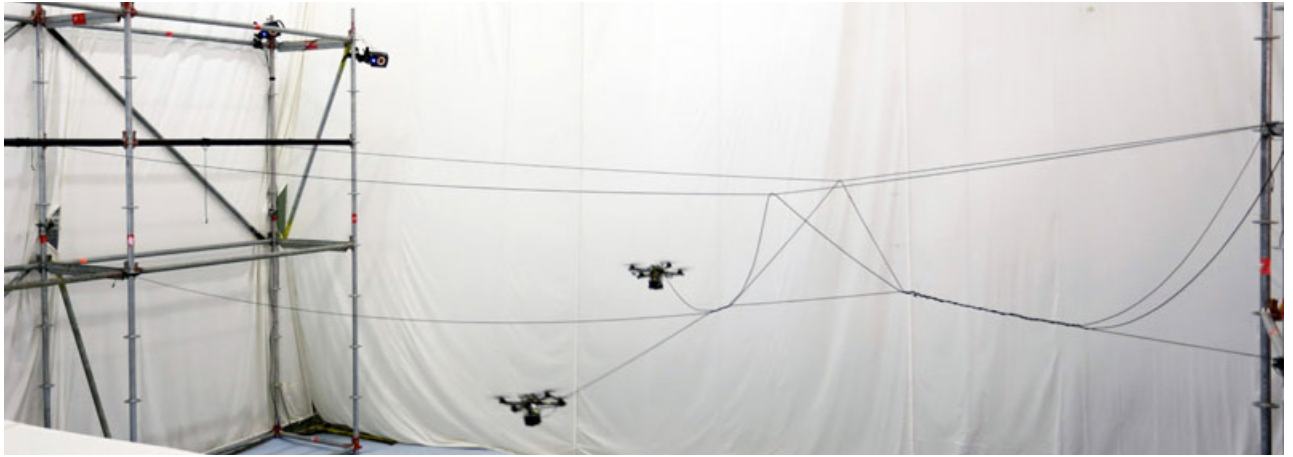
A cooperação entre drones, deverá ser explorada durante o processo de montagem dos elementos arquitetónicos ou industriais, pois estes têm de ter capacidades para distribuir as tarefas entre si, bem como completar as tarefas que um único drone não poderia completar, independentemente da sua capacidade individual.

Os drones podem completar diferentes tarefas, como por exemplo criar um nó, em que um veículo guia a extremidade dum cabo, enquanto o outro forma o laço para o primeiro passar, finalizando-o. Esta nova forma de pensar aplicada na construção de edifícios, permite que sejam desenvolvidas e criadas novas formas: (Mirjan et al ., 2013, p. 515; Mirjan et al ., 2013, p. 3489) [Fig. 80 e 81]

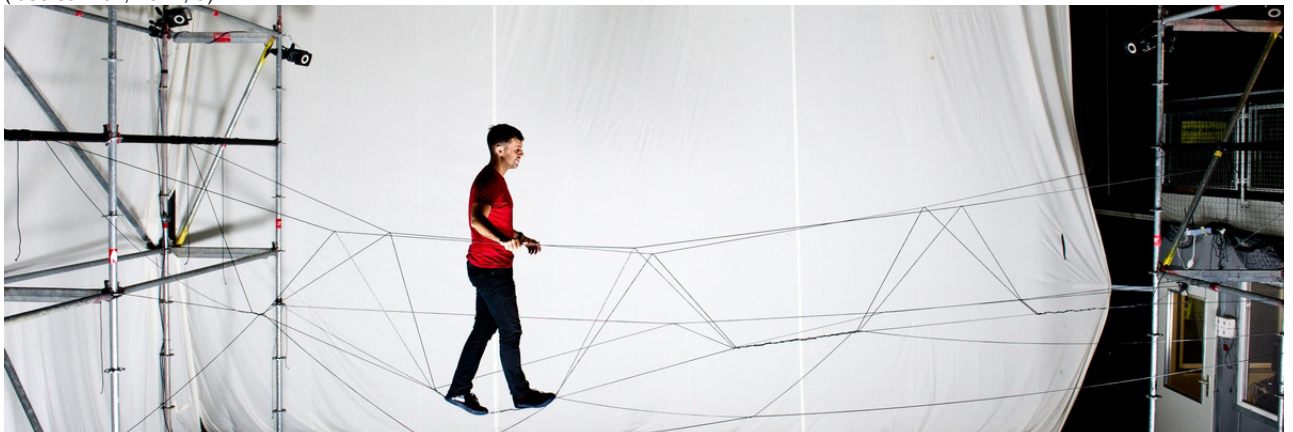
*"The vehicles don't merely distribute the workload among themselves but perform building tasks an individual machine could not accomplish alone, independently of the payload capacity." (Mirjan et al ., 2013, p. 515)*

A multidisciplinidade da equipa envolvida na realização deste sistema foi essencial para o seu sucesso, sendo disso exemplo a conjugação do desenvolvimento de processos de construção adaptados ao objetivo e o desenvolvimento de uma estratégia para o controlo de vários drones em simultâneo, capazes de interagir com o ambiente que os rodeia, sem que houvesse interceção de rotas. (ETHZ, 2017b)





**Fig.80** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.81** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)

O projeto provou, pela primeira vez, que pequenos drones são capazes de, autonomamente, montar uma estrutura portante, à escala real, que pode ser utilizada. Apesar deste projeto ter sido realizado em laboratório, a sua execução pressupõe a realização de uma ponte de semelhantes características entre duas vertentes de uma encosta de difícil acesso à mão de obra humana.

*"Researchers at ETH Zürich's institute for Dynamic Systems and Control successfully programmed three quadcopters to autonomously build a 24-foot rope bridge sturdy enough to support the weight of an adult human. The research team claims this is the first time that drones have been shown capable of building "load-bearing structures at full-scale" and is but the first step towards application in real-world scenarios." (Wang, 2015)*

### **4.3 The informed Wall**

Em 2006 na ETH de Zurique, foi desenvolvido em estúdio o Projecto The informed Wall, durante quatro semanas, no âmbito da área curricular, Architecture and Digital Fabrication, liderado pelos professores Fabio Gramazio e Matthias Kohler com a colaboração dos alunos de pós-graduação. Neste projeto cada aluno era suposto conceber um projeto diferente e o objectivo lançado era o de construir diversas e diferenciadas paredes de tijolo por forma a testar o seu potencial arquitectónico, recorrendo à técnica de fabricação

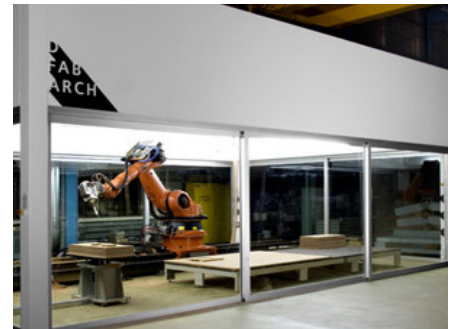
digital por adição do elemento básico da arquitectura, o tijolo.

Para a realização da experiência foi necessário conceber previamente uma estrutura robótica e construir um espaço adequado para o seu desenvolvimento. A estrutura consistiu num robot industrial de 6 eixos, com uma área de intervenção de 3x3x8, capaz de criar componentes arquitectónicos à escala real. A criação de um espaço, em ambiente controlado, permitiu a utilização de diferentes materiais, processos e formas de construção, sem interferências exógenas que pudessem interferir com os resultados da experiência. Nas condições definidas, o braço robótico, foi capaz de atingir qualquer ponto desse espaço tridimensional e executar qualquer tarefa dependendo da lógica expressa pelo programa de software Endffector. (Bonwetsch et al., 2017) [Fig 82 e 83]

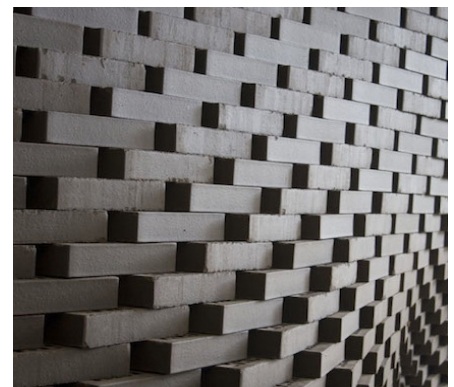
Para a criação desta experiência foram utilizados tijolos banais, usados na construção tradicional, como um dos seus elementos básicos, tornando o processo de produção mais rápido dada a simplicidade do objeto e a velocidade do braço.

A utilização de tijolos, objeto modular padronizado, permitiu ainda aumentar o potencial do desenho da estrutura, pois a sua forma modular permitiu que se executassem geometria diferenciadas, de acordo com o processo de parametrização pré definido pelos diferentes alunos do curso.

O braço robótico foi equipado com uma pinça



**Fig.82** - Area de concepção, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.83** - Exemplo de parede, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)



**Fig.84** - Braço robótico a colocar tijolos, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)

especialmente projectada para agarrar, levantar e colocar o tijolo num local específico. Para o efeito foi necessário em termos de software, desenvolver um script de computador capaz de traduzir os dados de CAD, em coordenadas para o braço robótico e utilizar o software MAYA, como forma de pré-visualizar a estrutura concebida, tornado-o num processo de construção direto entre o digital e o real, segundo Tobias Bonwetsch: (Bonwetsch et al., 2017) [Fig. 84]

*"Additionally a computer script was developed to translate the CAD data into control data for the robot, which allowed for a direct fabrication from the design... As a developing surrounding we chose the commercially available modeling and animation software MAYA with its embedded scripting language MEL. This allowed for a constant review of the consequences of a script on the computer screen."* (Bonwetsch et al., 2017)

Como forma de criar vários protótipos, foi pedido a cada aluno que utilizando o braço robótico, os software e setecentos tijolos, criasse uma parede de tijolo, única, com diferentes geometrias, de três por dois metros, para que o braço robótico as produzisse.

Primeiramente os alunos realizaram testes manuais, para perceberem o processo construtivo e a sequência de colocação dos tijolos. Seguidamente os alunos desenvolveram scripts básicos, com base nas regras pré estabelecidas para a construção de paredes. Seguidamente definiram os

seus próprios parâmetros e regras, criando as suas próprias estratégias de informação, aumentando assim a complexidade dos scripts iniciais. Com a combinação do software e do material escolhido foram produzidos diversos protótipos de paredes de tijolo diferentes. Como defendido por Tobias Bonwetsch: (Bonwetsch et al ., 2017)

*“For the prototype fabrication process we enhanced the hardware setup of the robot cell. Mainly we automated the application of the adhesive, as well as optimizing the robot control script. The current setup makes it possible for a single person to operate the production process.” (Bonwetsch et al ., 2017)*

Os resultados atingidos permite concluir que os braços robóticos industriais podem ser utilizados em tarefas altamente repetitivas, como colocar tijolos, material básico e tradicional utilizado há séculos na construção, numa parede rectilínea. No entanto, dado que em arquitectura é frequente a introdução de maior complexidade de formas, tornou-se essencial criar software e hardwares únicos, capazes de rentabilizar ao máximo as capacidades do braço robótico, para que este possa efetuar a construção, de acordo com o projeto dos arquitetos. A experiência mostrou que é possível construir uma parede de tijolo digitalmente concebida com o mínimo de margem de erro, com grande complexidade e velocidade. (Bonwetsch et al ., 2017)) [Fig. 85, 86 e 87]

#### 4.4 On the Bri-n-ck

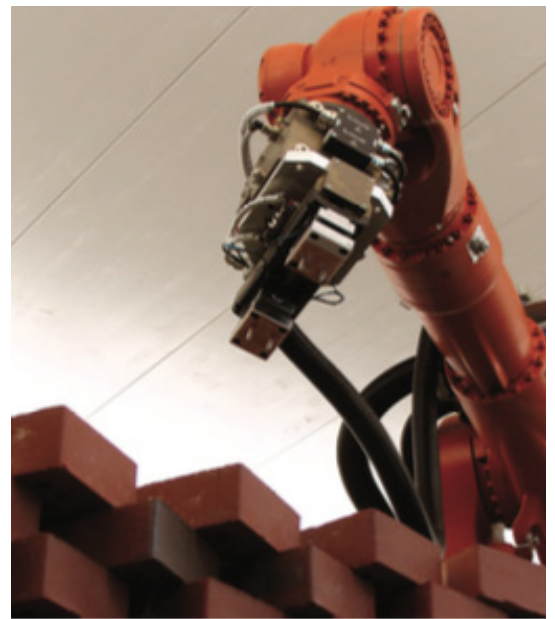
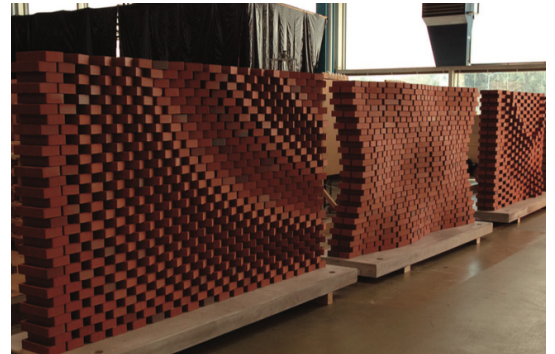
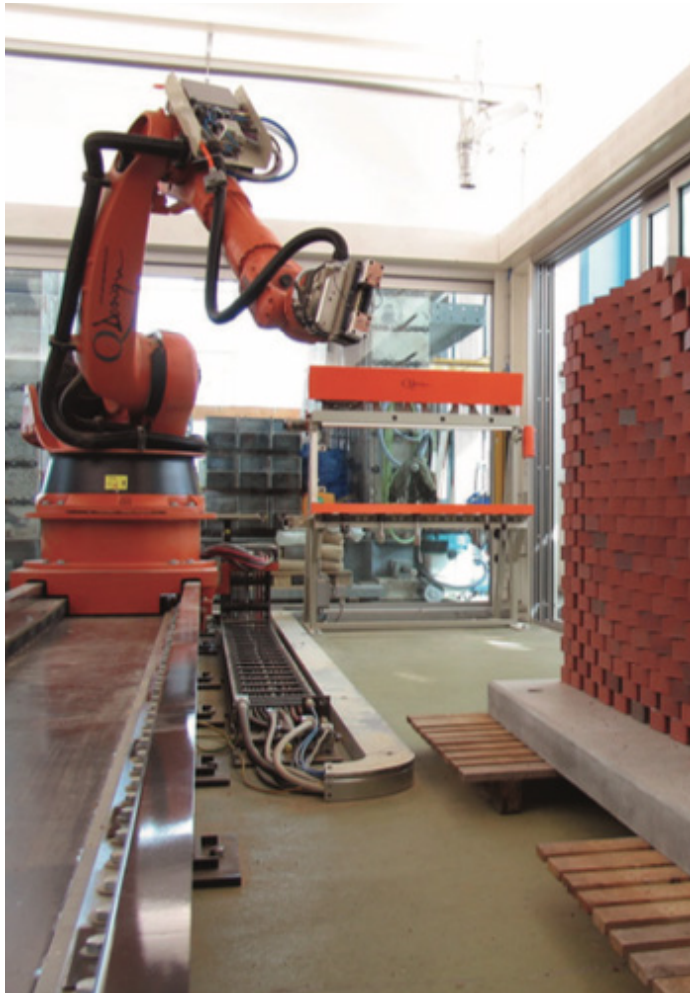
Em 2009 na Graduate School of Design at Harvard University nos Estados Unidos da América, sobre a orientação da Professor Ingeborg M. Rocker de Rocker-Lange Architects, foi desenvolvido o projecto On the Bri-n-ck, no qual foi desenvolvida uma dupla parede, com dupla ondulação, recorrendo a um braço robótico e a 4,100 blocos de madeira. (Fairs, 2017) [Fig. 88 e 89]

*"Using a modular unit of the masonry brick the team developed a systematic aggregation creating a wall consisting out of 4100 bricks. The wall's double layered running bond varies from a straight line to a maximum undulation, which creates an inhabitable space." (Fairs, 2017)*

O projecto é uma síntese de vários projectos gerados digitalmente, com o objectivo de criar uma parede à escala real, construída unicamente com o braço robótico, facto que criou novos desafios: em termos de concepção do projeto, utilizando novas técnicas de construção; e as limitações e restrições estruturais do material utilizado.

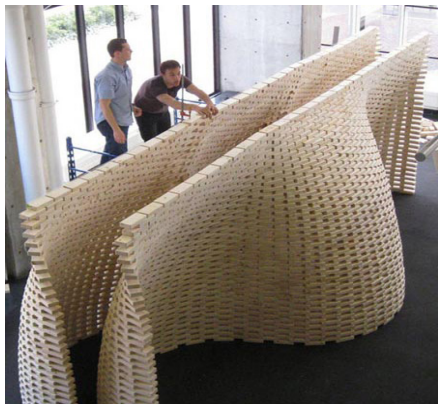
Recorrendo a uma unidade modular, blocos de madeira, foi desenvolvido um sistema de construção e um software específico, de forma a criar duas estruturas portantes, paralelas, compostas por 4100 blocos cada uma. Cada uma das paredes

Fig. 85, 86, 87 - Area de concepção e exemplosde paredes, the informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)





**Fig.88** - Exemplo da parede, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)



**Fig.89** - Exemplo da parede, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)

paralelas, varia entre uma linha recta e uma dupla ondulação no eixo vertical. (Fairs, 2017) [Fig. 90]

Com a construção das duas paredes paralelas criou-se um espaço habitável, esteticamente agradável, resultante do padrão algorítmico pré-definido de colocação dos módulos. Os parâmetros técnicos do material utilizado, a madeira, e a escala de construção conferem ao espaço boas capacidades acústicas. Como defendido por Marcus Fairs:

*"Ultimately the design manifests the performative potential of bricks, expressed through the wall's curvature and porosity as it affects the acoustic and visual qualities of the wall-space created."* (Fairs, 2017)

Tendo em conta a escala, a precisão necessária e a grande quantidade de blocos de madeira, foi necessário previamente criar um script para permitir realizar um processo de construção robótico. (Fairs, 2017)

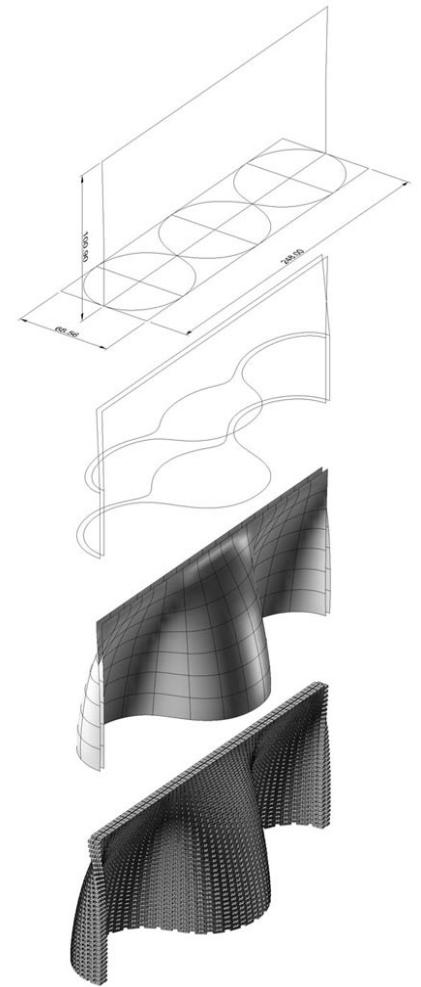
Podemos concluir que o projecto On the Bri-n-ck, revela um grande potencial para ser aplicado à construção, pois permite efetuar formas complexas recorrendo a materiais modulares simples. O grande potencial dos processos de fabricação digital por adição, recorrendo à construção robótica, irão gradualmente ganhando um papel importante e fundamental na educação das novas gerações de arquitectos, por permitirem novas possibilidades na construção do futuro, mais complexas e mais rápidas, reduzindo o erro da mão humana. (Fairs, 2017)



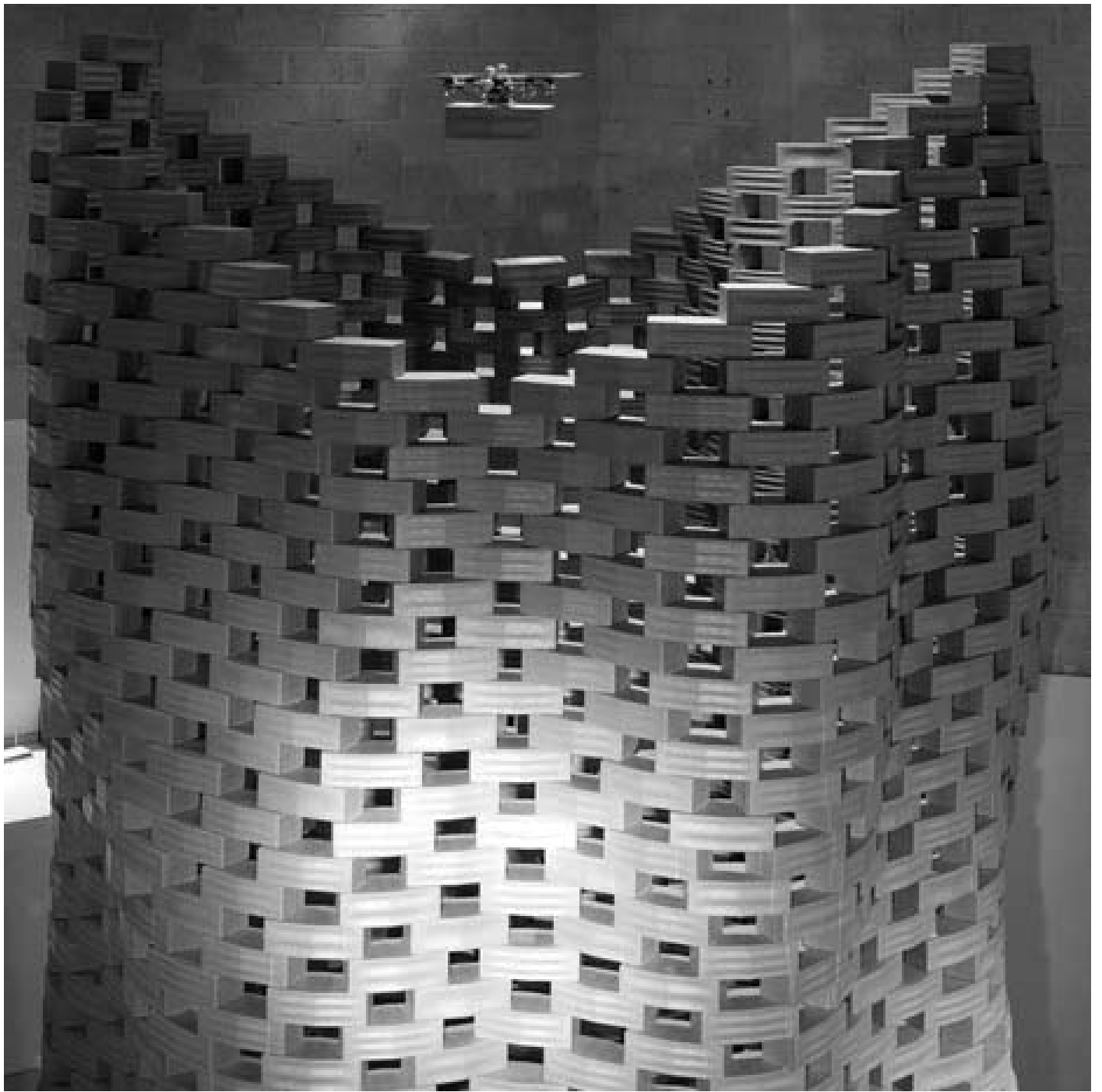
## 4.5 Considerações finais

Como conclusão parcial é possível afirmar, que as duas experiências com drones que apresentámos tiveram sucesso, nomeadamente na construção de estruturas tensadas (através de tecelagem) e na construção de uma parede de tijolos (através de deposição). Atualmente já existe tecnologia disponível para o fazer sendo necessário vontade para a desenvolver e aplicar na prática. Podemos ainda concluir as duas experiências com braços robóticos conseguem executar o mesmo trabalho, contudo com limitações em altitude.

Quer os drones quer os braços robóticos permitem construir com mais rapidez, menores custos, explorar novas formas e materiais, e permitindo repensar a maneira de projetar em arquitetura.



**Fig.90** - Processo de criação, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)



# 5

## UMA EXPERIÊNCIA COM DRONES

Hipóteses de construção

---

O presente capítulo apresenta a idealização de três experiências que permitiram explorar conceptualmente diferentes níveis de complexidade da construção com drones. Estas experiências sucedem-se em complexidade geométrica da solução construtiva, nomeadamente a construção de uma torre com seis tijolos; a construção de uma parede vertical simples; a construção de uma parede com uma geometria complexa.

---



**Fig.91** - Exemplo de drone desenvolvido pelo IT, ISCTE-IUL (ISCTE, 2017, 9)

Neste capítulo apresenta-se a descrição concetual de três experiências que se idealizaram para se testarem as hipóteses levantadas no início do trabalho.

Quando se começou este trabalho um dos objetivos levantados foi a concretização de uma experiência real com construção realizada por drones. Ao longo da realização do mesmo foi-se compreendendo a complexidade da mesma e a dificuldade de responder aos requisitos técnicos e de equipamentos que seriam necessários. Esta dificuldade parece ser, no momento atual, a razão das poucas experiências a este nível que têm vindo a ser desenvolvidas a nível internacional.

Como resposta à dificuldade de realizar a experiência tal como esta foi idealizada inicialmente propôs-se neste trabalho, em substituição, desenvolver a conceção dos objetivos e dos requisitos técnicos e de equipamentos que seriam necessários realizar para as concretizar. Optou-se assim por idealizar três experiências, cada uma com um grau de complexidade maior e que pretendem demonstrar hipóteses de investigação diferentes. A primeira das três experiências descritas, constitui a base teórica das duas seguintes. A primeira experiência consiste na construção de uma torre de tijolos, a segunda na construção de uma parede vertical lisa de tijolo, e a terceira na construção de uma parede de geometria complexa também em tijolo.

As experiências consistem todas na construção de objetos com base no empilhamento de elementos, utilizando a tecnologia que foi defendida ao longo deste trabalho como sendo uma das formas de construção do futuro - os drones. Com este objetivo em vista, elegemos a construção em alvenaria, justapondo elementos padronizados, tijolos, tradicionalmente de aplicação manual.

As experiências foram pensadas para ser realizada no interior, sendo para isso necessário que as mesmas se realizassem num espaço de ambiente controlado por tecnologias que façam o seu mapeamento total. Para tal é necessário garantir que o espaço está coberto por sensores que permitam o seu mapeamento completo como que numa grelha tridimensional, no qual a qualquer ponto do espaço correspondem coordenadas específicas.

Para a realização destas experiências seriam então necessários os seguintes equipamentos:

- dois Drones profissionais com garras acopladas para suportar os tijolos com capacidade de suporte de 1kg, de forma a suportar os Tijolos e com as Maxilas de suporte do Tijolo. Ou Drones comerciais adaptados: DJI, 3D Robotics ou a Parrot.( a ser desenvolvidos no IT-IUL); [Fig. 91]
- um tablet com sistema operativo Android;
- software de desenho digital e tridimensional (e.g.

- Rhincoeros, Maya, 3D Studio max, Revit);
- software de controlo para os drones (software desenvolvido pela equipa do IT-IUL, do grupo dos Drones.);
- sensores de coordenadas para o interior (beacons, localização com recurso a triangulação wi-fi, sistemas on-board e autónomos de navegação, sistemas colaborativos, com vários drones, fusão de dados dos vários sistemas, sensores do drone e os sistemas de localização referidos.);
- dispensador de tijolos;
- tijolos.

Para iniciar qualquer uma das experiências é necessário que tenham sido previamente criados modelos digitais tridimensionais, recorrendo a um software de modelação digital como o Rhinoceros 3D, o Revit, o Maya, o 3D studio max ou outro.

As experiências recorrem à utilização de dois drones profissionais, por estes permitirem uma maior capacidade de carga e um maior controlo de movimentos, factos que conjugados resultam numa menor margem de erro. Apesar de pequenos, estes drones, aliados a uma garra mecânica, que seria especialmente desenvolvida para a experiência, são capazes de carregar um tijolo de cada vez para um local específico pré determinado. Nestas propostas a construção das estruturas é realizada no interior de modo a proporcionar um maior controlo no espaço relativamente ao que seria numa experiência no exterior. Apesar desta opção, esta técnica de

construção poderia ser desenvolvida para o exterior sendo que nesse caso em vez de sensores interiores se utilizaria sistemas de navegação suportados por satélite, e.g., GPS, Glonass, Galileo e BEIDOU-2. Os sistemas de recepção podem utilizar vários sistemas para aumentar a sua exatidão e precisão.

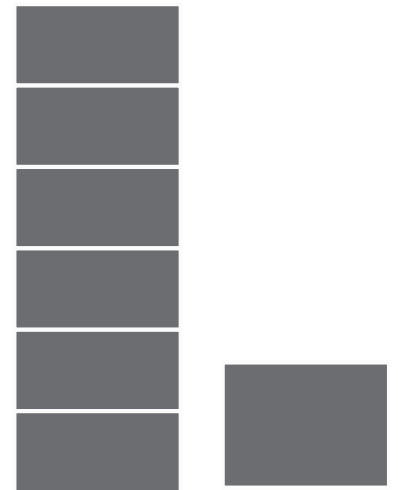
## 5.1 Experiência 1

A experiência 1 tem como objetivo a construção de uma torre vertical com seis tijolos que são sobrepostos conforme Figura 92. Para tal será necessário todo o equipamento definido anteriormente e seis tijolos que serão sobrepostos.

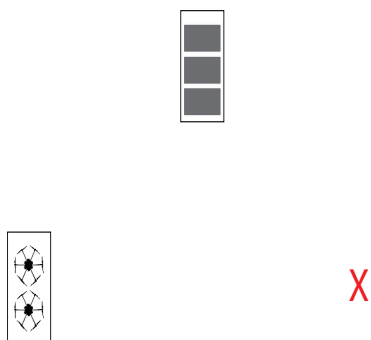
O objetivo desta experiência seria provar que é possível controlar drones de modo a que estes coloquem peças em locais com coordenadas X, Y, Z específicas.

Os dois drones funcionarão, em cadeia, sendo para o efeito necessário criar um software de gestão de rotas. No caso em apreço, a rota que se definiu é circular, permitindo que enquanto um drone se dirige ao dispensador para agarrar um novo tijolo o outro esteja a colocar um tijolo nas coordenadas pré-determinadas.

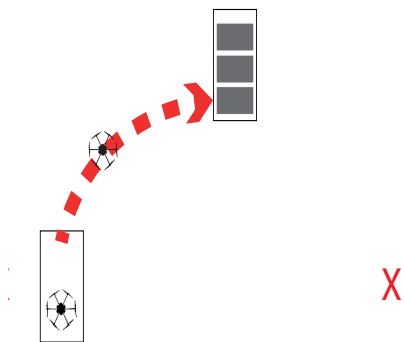
O dispensador de tijolos encontra-se num local físico fixo, e este coloca cada tijolo sempre na mesma coordenada que o anterior, de modo a que quando o drone chega a essa



**Fig.92** - representação esquemática da torre de 6 tijolos, experiência 1, alçado e planta, pelo autor.



**Fig.93** - representação esquemática da localização dos elementos, experiência 1, pelo autor.



**Fig.94** - representação esquemática da trajetória do 1º drone, experiência 1, pelo autor.

coordenada, possa agarrar e levantar o tijolo. Os drones são colocados inicialmente sobre uma mesa, num local específico, que serve simultaneamente como zona de carregamento da bateria e descanso, para onde estes se dirigem casa haja algum problema. Partindo da mesa os drones deslocam-se alternadamente ao dispensador de forma a iniciar a construção. Na segunda viagem o drone já não necessita de pousar na mesa, em vez disso vai diretamente do ponto onde pousou o tijolo para o dispensador buscar um novo tijolo. [Fig. 93]

O drone 1 levanta voo e dirige-se ao dispensador, aterriza sobre a coordenada onde se encontra o primeiro tijolo no dispensador, a garra fixa-o, e o drone levanta voo e dirige-se para as coordenadas X,Y,Z específicas do início da construção, aterriza e solta o tijolo. Enquanto o drone 1 leva o tijolo para as coordenadas de construção, o drone 2 levanta voo e dirige-se para as coordenadas do dispensador para repetir o mesmo processo e levantar o segundo tijolo. O drone 2 leva o segundo tijolo para as coordenadas de construção e pouso-o até que este embata no primeiro, soltando-o e dirigindo-se novamente para o dispensador, para que o drone 1, já em voo, liberte o terceiro tijolo, e assim sucessivamente até que os seis tijolos sejam colocados nas coordenadas de construção, construindo uma torre, que se manterá erguida e segura por gravidade. [Fig. 94, 95]

No final do processo, os drones dirigem-se às coordenadas de descanso e carregamento, e pousam nos seus locais específicos, terminando assim o processo.

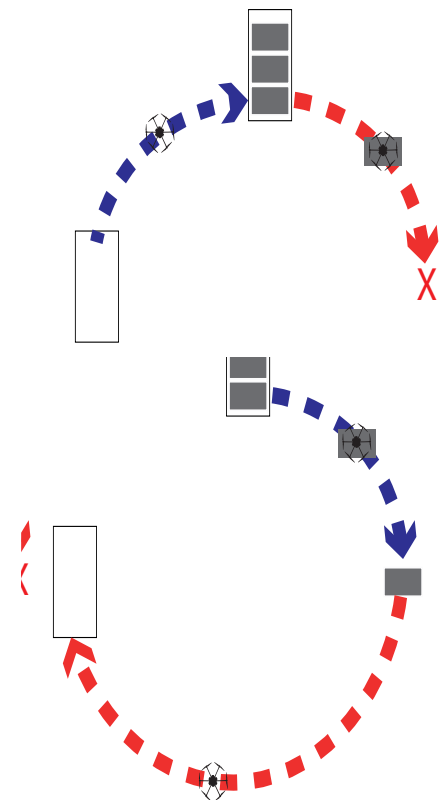


Todo o processo é controlado pelo software de controlo de rotas, que, num ecrã ligado ao computador controlador, mostra em tempo real o processo de construção, as etapas e as rotas utilizadas pelos drones.

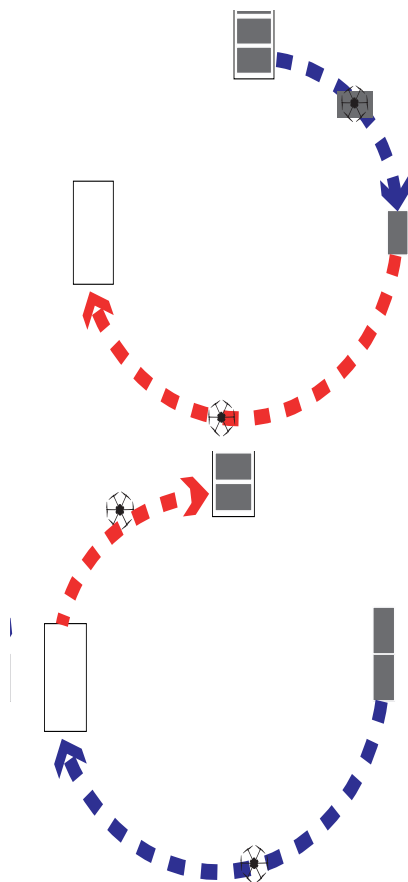
Como requisito para todo o processo de construção as trajetórias dos drones têm que ser entendidas, planeadas e constantemente corrigidas, de modo a que a variabilidade e o erro, na colocação dos tijolos nas devidas coordenadas, seja o menor possível ou mesmo inexistente. O exemplo da experiência efetuada no projecto Interactive Learning, realizado em 2008 na ETH de Zurich pelo Prof. Raffaello D'Andrea, permitiu constatar que há diferenças entre as trajetórias planeadas e as executadas pelos drones. Nesta experiência da ETH Zurich conseguiu-se ainda identificar os erros ocorridos assim como os ajustes necessários para que as duas trajetórias fossem iguais. Para além das trajetórias automatizadas, os drones estão equipados com um conjunto de sensores: LIDAR e SONAR que os seus dados serão processados pela plataforma para fazer as devidas correções à colocação dos tijolos.

## 5.2 Experiência 2

A segunda experiência consiste na construção de uma parede vertical lisa de tijolo, montada de forma tradicional



**Fig.95** - representação esquemática das trajetória de montagem com dois drones, experiência 1, pelo autor.



**Fig.96** - representação esquemática das trajetórias, experiência 2, pelo autor.

em fiadas desencontradas, mantidas no local por gravidade. [fig.97]

O objetivo desta experiência, em acrescento ao objetivo da experiência 1, seria comparar o processo de construção de uma parede de tijolo de modo tradicional (manual) com a construção robotizada (com drones). Esta comparação poderia ser feita ao nível do tempo gasto e da qualidade do resultado obtido.

Toda esta experiência utiliza as mesmas premissas, dispositivos e software definidos na experiência 1, diferindo desta unicamente nas coordenadas de construção e na dimensão do objeto final. No caso desta experiência, seria utilizada a mesma rota circular, que evita a colisão entre os dois drones, sendo cada tijolo colocado no seu devido local, de forma a criar o modelo pretendido.

No modelo anterior as coordenadas X e Y de construção eram sempre as mesmas variando apenas o Z. Neste segundo modelo os tijolos vão sendo depositados em coordenadas Y e Z sempre diferentes mantendo apenas o eixo X. [Fig. 96]

Para a criação de cada fiada, os drones agarram os tijolos e posicionam-nos lado a lado, criando a primeira fiada, para a construção da segunda fiada, cada drone aterra sobre a primeira e quando o tijolo embate com a fiada de baixo o drone solta-o continuando a construir lado a lado. O processo repete-se até que a parede seja construída.

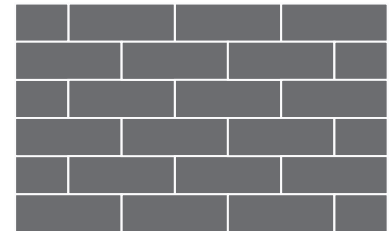
## 5.2 Experiência 3

A terceira, e última, experiência consiste na criação de uma parede de geometria complexa, cujos tijolos funcionam por gravidade. Esta parede tem dupla curvatura, criada por fiadas de tijolos espaçados entre si e sobrepostos uns sobre os outros. [Fig. 98 e 99]

O objetivo desta experiência, em acrescento ao objetivo da experiência 1 e 2, seria comparar o processo de construção de uma parede de tijolo de modo tradicional (manual) com a construção robotizada (com drones). Esta comparação poderia ser feita ao nível da precisão da geometria conseguida.

Esta experiência utiliza os mesmos dispositivos e software necessários que as anteriores, para o controlo dos drones e colocação dos tijolos, diferindo da experiência anterior, numa única premissa, as coordenadas de colocação dos tijolos. No caso da experiência em apreço, seria utilizada a mesma rota circular, que evita a colisão entre os dois drones, devendo cada tijolo ser colocado no seu local específico, de forma a criar o modelo de parede pretendido.

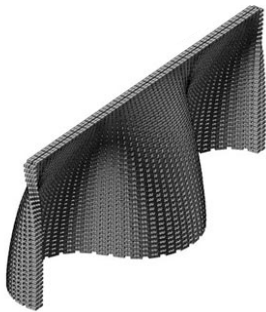
Neste modelo tridimensional, tal como no anterior, cada tijolo tem a sua coordenada de modo a criar a curvatura da parede, e deixar um espaçamento de dois quartos de tijolo entre si, de forma a que os tijolos das fiadas superiores tenham uma área de assentamento sobre dois tijolos. Cada tijolo é



**Fig.97** - representação esquemática da parede criada, experiência 2, pelo autor.



**Fig.98** - representação esquemática do padrão da parede criada, experiência 3, pelo autor.



**Fig.99** - Representação tridimensional da forma criada. Processo de criação, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)

colocado de acordo com as suas coordenadas em Y, X e Z ,sendo que as fiadas superiores são colocadas da mesma forma que nas experiências anteriores, o drone aterra e quando sente o impacto do tijolo, no tijolo de baixo, liberta-o, repetindo este processo até que o elemento seja completamente construído.

Para a criação de uma parede, com esta complexidade, é necessário aperfeiçoar e calcular o trajecto de cada drone, de forma a colocar cada tijolo na sua exata posição para não existirem erros na construção do elemento.

Em casos como este de desenho de superfícies orgânicas paramétricas é comum o uso de software de modelação 3D, p.e. Rhinoceros, aliado a um plug-in de desenho paramétrico, como o Grasshopper. Este sistema permite tirar partido das características de versatilidade e flexibilidade de desenho, aliando a este a capacidade de fazer alterações sucessivas ao modelo.

### **5.3 Considerações Finais**

As três experiências desenvolvidas conceptualmente ao longo deste capítulo, têm em vista ser objeto de experimentação no laboratório de robótica do ISCTE-IUL, de modo a testar em que medida a construção com drones poderia ter vantagens em relação à construção manual tradicional. Dados os limites temporais para apresentar este trabalho e a complexidade do aparato tecnológico necessário, estas experiências não se puderam concretizar e ficaram adiadas para uma fase posterior da investigação.



# 6

## DISCUSSÃO, PROS E CONTRAS

Da Construção Robótica

---

Neste capítulo apresentei numa primeira parte, um novo conceito, que se desenvolvi tendo em vista caracterizar o metabolismo da sociedade atual que optei por designar como metabolismo tecnológico, fazendo uma analogia do desenvolvimento do conceito que com a revolução industrial passou de metabolismo social a industrial. Na segunda parte deste capítulo apresentei três entrevistas realizadas a três eminentes professores e arquitectos que têm realizado trabalho a nível internacional na área da robótica aplicada à arquitetura.

---



**Fig.101** - Braços robóticos para linha de montagem, 3ds kuka mechanical arm, kuka, Keepsake, 2017. (indiamart.com, 2017, 8)

Ao longo deste capítulo vamos, analisar os prós e os contras do uso da tecnologia, suportando os argumentos com a opinião profissional de três arquitectos que têm desenvolvido investigação e aplicação da robotização na indústria da construção, como é o caso do arquitecto Fabio Gramazio, professor da ETH de Zurique e diretor do atelier Gramazio & Kohler Architects, do professor José Pedro Sousa, professor da universidade de arquitectura do Porto e do arquitecto Tobias Bonwetsch, investigador no Laboratory for Architecture and Digital Fabrication da ETH de Zurique, e co-fundador da empresa ROB Technologies.

Numa primeira parte iremos introduzir alguns conceitos, que tentam explicar o conceito de metabolismo Industrial, que surgiu da revolução industrial, e os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos, com um novo conceito por mim desenvolvido, que designo por metabolismo Tecnológico.

Na segunda parte, vamos analisar as entrevistas efectuadas aos três profissionais na área.

## **6.1 Metabolismo tecnológico**

A revolução industrial, com as conseqüentes alterações sociais que provocou, e as tecnologias que introduziu, deu



origem a um novo metabolismo, o Metabolismo Industrial. Este novo metabolismo, assente nos princípios identificadores do metabolismo social, o factor humano, a energia, a economia, o ambiente, o input e output de bens, e a sustentabilidade, aliados ao aparecimento das máquinas, revolucionou a sociedade. (Fischer-kowalki, 1998, p.62)

Com a revolução industrial e a introdução da máquina no trabalho, diminuíram-se inúmeros postos de trabalho, tendo-se em contrapartida criado outros novos, facto que nos permite constatar, que o trabalho humano continuou a ser necessário, malgrado a mecanização. Não obstante o referido, o valor do trabalho humano subiu, tornando os objetos de produção manual - "handmade" - objectos de valor acrescentado.

Com a revolução tecnológica que atualmente vivemos, a nossa sociedade tornou-se dependente de toda uma nova panóplia de dispositivos digitais, que se tornaram indispensáveis para a realização da maioria das tarefas quotidianas.

Com os progressos tecnológicos existentes atualmente, e com os que se prospectivam que surjam num curto espaço de tempo, o processo de ruptura, que se tem vindo a desenrolar, parece estar a dar origem a uma nova sociedade, e por consequência a um novo metabolismo, bastante apoiado no desenvolvimento tecnológico.

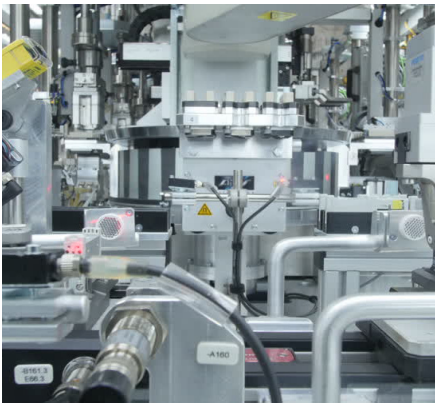
Ao contrário do passado, em que o desenvolvimento



**Fig.102** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)



**Fig.103** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)



**Fig.104** - Artificial Intelligence, Robot Industry Germany, 2015. (footage.framepool.com, 2017,8)

tecnológico era bastante lento, atualmente as novas tecnologias da era digital, desenvolvem-se de forma muito mais acelerada, pelo que podemos considerar, que na atualidade um ano corresponde a quase dez anos ocorridos após a revolução industrial.

Como referimos anteriormente a revolução industrial, que se desenvolveu com a introdução da mecanização e das tecnologias a ela associadas, acabou com vários postos de trabalho, substituindo-os no entanto por outros, ou seja continuou a ser necessário o trabalho do homem para que a máquina funcionasse, não obstante o facto da produção em massa ter reduzido os custos do produto final. O valor do trabalho humano, "hand made", aumentou, tornando os objectos por eles produzidos bastante mais caros. (Fischer-kowalki, 1998, pp. 62-63) [Fig. 101,102 e103]

Actualmente a tecnologia avança de tal forma, que a robotização aliada à inteligência artificial, cria "seres" robóticos, com um QI de 100 [Fig. 104], capazes de executar tarefas, sem a necessidade do input humano, máquinas capazes de se regular, e funcionar sincronizadamente e produzir um objecto final. Este facto tem a capacidade de paulatinamente, substituir por completo o trabalho do ser humano em algumas áreas. Actualmente já existem algumas fábricas em que o trabalho humano foi totalmente substituído por robots, de que é exemplo a marca automóvel japonesa Lexus. Esta fábrica tornou-se célebre, por ser a única em que, desde a sua

gênese toda a produção é feita por robots, que numa linha de montagem criam as peças, e montam-nas, até o automóvel estar finalizado.

A Foxconn, a maior empresa de fabrico de componentes eletrónicos e computadores do mundo, e consequentemente a maior empregadora na China, com mais de um milhão de trabalhadores, em 2011 instalou cerca de 10.000 robots (foxbots) [Fig. 105] capazes de efectuar simples tarefas como montar, pulverizar e soldar. Os foxbots, estão lentamente a substituir os trabalhadores menos qualificados da fábrica, e simultaneamente a aumentar o seu volume de produção. Sabemos que atualmente a empresa está a instalar foxbots numa média de 30.000 por ano. (Davidow and Malone, 2016)

Como vimos ao longo da história, a evolução tecnológica sempre acabou com alguns postos de trabalho, contudo também sempre criou outros novos e embora mais especializados, facto que parece não estar a acontecer na atualidade, devido à crescente robotização introduzida nas fábricas.

Em termos de factor humano, a introdução de novas tecnologias, nomeadamente a robotização, terá inevitavelmente consequências na redução da maioria dos postos de trabalho menos qualificados, levando à criação de cidadãos "Zero economic value", factor que criará duas realidades distintas dentro de uma mesma sociedade, por um lado uma sociedade em que o que importa são os bens materiais, em que lutamos



**Fig.105** - conceptual image, foxconn robots, China, 2016. (zdnnet.com, 2017, 7)



**Fig.106** -Machine head: unlike humans, robots are incapable of creative thought, Getty Images, 2016. (telegraph.co.uk, 2017, 9)

para ter o máximo que poderemos "Lexus Society", e em oposição uma sociedade que, por não ter meios, "luta" pela posse de território, das suas raízes, da subsistência, " the olive tree Society". (Davidow and Malone, 2016; Muro and Andes, 2014; Friedman, 2000)

Com a substituição do factor humano os input-outputs alteram-se pois a máquina torna-se independente e capaz de se auto-regular aumentando a produção. [Fig. 106]

O problema da robotização e a conseqüente substituição do trabalho humano, leva a que surjam outros problemas para a sociedade, problemas a que assistimos actualmente, de que é exemplo a nova guerra entre os táxis e a UBER, o antigo sistema contra o novo sistema. Com a sociedade cada vez mais dependente das novas tecnologias, a facilidade de utilização de apps, leva a que qualquer cidadão, tanto pela facilidade como pela rapidez, prefira utilizar estes novos serviços, em oposição aos antigos, que continuam desatualizados e desligados do século em que nos encontramos. [Fig. 107]

Com a chegada das novas máquinas e a subsequente falta de empregos, que elas provocarão podemos também prospectar dificuldades na manutenção das democracias liberais atuais, de que são exemplo as últimas eleições nos EUA. Nestas houve um levantar dos populismos, nacionalismos, e de reacções xenófobas como reacção à presença de novos emigrantes, que retiraram postos de trabalho aos Norte

Americanos, dado receberem menos salário que estes, e pela deslocalização de algumas fábricas para países da América do Sul, dado que nesses países a mão de obra também é mais barata. Se este fenómeno anti-emigração, anti-deslocalização de fábricas, e anti-globalização existiu, por escassez de postos de trabalho, qual será a reação deste povo, quando todo o seu trabalho for substituído por máquinas, e deixar de ter qualquer valor?

Com esta criação de máquinas inteligentes e perfeitas, o trabalho humano vai continuar a desaparecer, em certos sectores, levando a que a população se revolte contra a tecnologia, como defendem os autores William H. Davidow e Michael S. Malone *"Ultimately, we need a new, individualized, cultural, approach to the meaning of work and the purpose of life. Otherwise, people will find a solution - human beings always do - but it may not be the one for which we began this technological revolution."* (2016).

Pomos assim as questões: até que ponto é que podemos avançar com a criação de máquinas com inteligência humana? Será que é necessária a criação de seres robóticos, iguais ao ser humano, capazes de sentir, amar, pensar, imaginar e criar tal como nós, criação essa que poderá pôr em causa a nossa própria existência?

## 6.2 A perspectiva dos especialistas

Como forma de entender o que tem sido feito neste campo, a construção robótica, recorreremos a entrevistas feitas a três profissionais na área, como forma de entender quais os avanços e qual a visão futura, para a aplicação desta tecnologia. Estes profissionais foram escolhidos por atuarem há diversos anos na área e terem sido responsáveis por diversas inovações às quais nos referimos ao longo do trabalho. O arquiteto e professor Fabio Gramazio foi um dos cofundadores do atelier Gramazio & Kohler, e o primeiro a criar um laboratório de robótica para pesquisas relacionadas com arquitectura, “Laboratory for Architecture and Digital Fabrication”, na faculdade ETH de Zurique. O arquiteto Tobias Bonwetsch é investigador no Laboratory for Architecture and Digital Fabrication da ETH de Zurique, tendo trabalhado em conjunto com o arquitecto Fabio Gramazio e co-fundador da empresa ROB Technologies. O arquiteto e professor José Pedro Sousa da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto é co-promotor do projecto OPO’Lab no Porto, foi co-fundador do estúdio ReD, Research+Design, com base no Porto e Barcelona e é interessado pela exploração de novas possibilidades conceptuais e materiais emergentes do uso de tecnologias avançadas e de fabrico digitais.

Foram colocadas as seguintes questões a todos eles (as entrevistas foram todas realizadas em inglês):

These group of questions regards the use of robots (drones and robotic arms) only during the assembly part of the construction process.

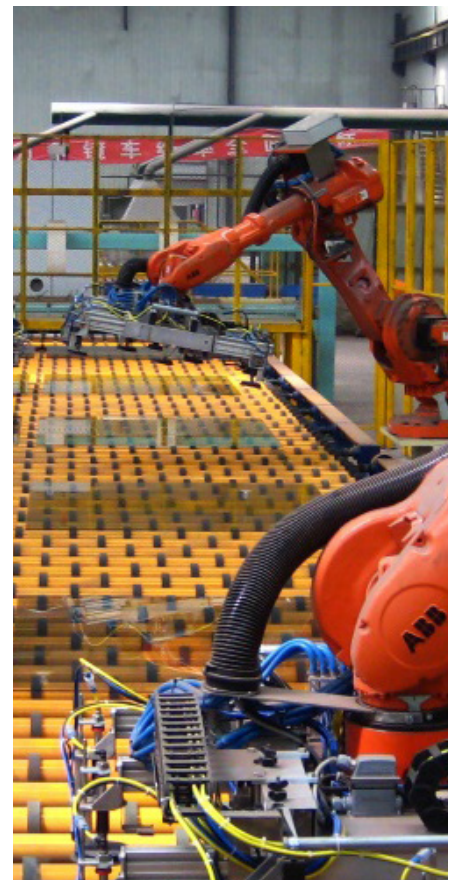
1- In other industries robotic building systems are being used, to decrease costs, reduce human error and increase the production. In your opinion should it be applied to the construction industry?

2- In the last years we've seen technology slowly changing the way architecture is developed. In your opinion will, the use of robots in the assembly process, influence the way that architects think and conceive architecture? In what way?

3- In the few existing experiments that we've seen on the use of robots for assembly, there are two ways of use, one where the robot and human work together (the human commands the machine) and the other were the machine works autonomously (one method were the man is only on the beginning of the process). In your opinion what are the advantages and shortcomings of each?

4- In your opinion what will be the advantages and disadvantages of using robots in the assembly process instead of today's traditional methods?

5- In your own practice what are the main reasons and the main constrains to use robotic assembly?



**Fig.107** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)



**Fig.108** - Professor e arquitecto Fabio Gramazio, ETHZ, 2017. (dfab.arch.ethz.ch, 2017, 9)

6- Will the construction in 50 years' time be totally automatic?

Segundo o arquitecto Gramazio [Fig. 108] podemos afirmar que, no que diz respeito à tecnologia, esta já se encontra capaz de ser aplicada na construção de edifícios, *"Yes, we think is feasible now because of the technology, and now the drone is a nice example"*. Na experiência que desenvolveu, estabeleceu como pré-condição a necessidade de existir um sistema de sensores e um sistema de controlo, para a utilização de drones na indústria da construção, em ambientes bastante desestruturados. *"a machine would not be possible without sensing and control, and sensing and control is the precondition to apply machines in the building construction because you have very unstructured environments, and this ends these technologies"*.

Na sua opinião, quando pensamos nesta tecnologia, e na forma como esta pode alterar a forma como pensamos e concebemos arquitectura, esta torna-se bastante especulativa. De facto, ao olharmos para a história as tecnologias sempre alteraram a forma como concebemos a arquitectura. A simples possibilidade que os drones podem trazer no que respeita a colocar um material em qualquer ponto no espaço torna a tecnologia disruptiva na indústria da construção.

Sobre o mesmo tema Gramazio defende que esta tecnologia deverá entrar na indústria de construção, lentamente e com moderação, não por razões tecnológicas, mas pelo



elevado custo da sua aplicação *"I think, in construction industry it would only be feasible, in moderation, and probably not technological reasons, but because of cost reasons, because a process that can work, or perform without humans will be exponentially expensive, and not robust, and so you can apply this process where you have a lot of money, you know!!"*. No entanto esta tecnologia, em sua opinião, tornar-se-á necessária e imprescindível em ambientes de acesso perigoso, ou em construções submarinas.

No que diz respeito à indústria da construção tradicional não existem recursos financeiros suficientes para a utilizar extensivamente, dado o alto custo que uma construção altamente roborizada e autónoma requer, *"You have environments that if you are working 10 thousand meters bellow sea level environment or in a dangerous environment, than probably you can afford fully autonomous machines, but building construction is not, i mean, unless you want to... you just don't have the money in building construction, you have to think this way, because in automation, if you look at automation, you get the fist 50% almost for free, you know, and you can automate more and it gets so much more expensive the next 40% but the last 10% is even more expensive."*.

Gramazio defende a tese, que a construção no futuro, só será viável utilizando um sistema híbrido, no qual o ser humano e o robot trabalharão em conjunto, de modo a reduzir os altos custos da robotização e não perturbar a sociedade actual. Ainda Segundo Gramazio, o futuro desta tecnologia é



**Fig.109** - Architect Tobias Bonwetsch, institute for Technology in Architecture,2016. (digitalcrafting.dk, 2017, 9)

incerto pois , ao longo da história, as novas tecnologias foram muito lentamente afectando a forma como construímos. Assim esta mudança de paradigma, malgrado a velocidade em que surgem novas tecnologias, pode ou não acontecer com a mesma velocidade, pelo que todo este processo é altamente especulativo. *"Again it is difficult to say; again if you look at history you should assume this will not be the case that the things will change, and if you go back in history on hundred years, you know, technology and new materials have changed the way we build so, you know, with future you can only extrapolate how fast".*

Neste momento, segundo o autor não existem respostas certas quanto ao futuro da construção com drones, contudo, este encara a adoção destas tecnologias com ceticismo crendo que dificilmente se irá dar uma mudança numa indústria em que durante a história as alterações foram lentas, *"Maybe we can be wright or wrong, you can say, if something happened regularly in the past there is no reason to assume that it will not happen the same way now, it is almost statistics but it is the only argument, you know, nobody knows how it will be in 50 years, you know, maybe we will not be here any more, you know."*

O arquiteto Tobias Bonwetsch, [Fig. 109] que trabalhou com Gramazio numa das experiências que referimos neste trabalho, reforça as opiniões de Gramazio, tendo no entanto enfatizado, o facto da construção com drones poder vir a

reduzir os acidentes de trabalho, e que devido às condições de trabalho na indústria da construção, serem diferentes das outras indústrias. Tal facto será , segundo Tobias Bonwetsch, determinante para que não sejam só os factores económicos a determinar a velocidade de aplicação destas novas tecnologias na construção, *"In my opinion, reducing the benefits of robotics in construction to costs, quality and productivity is not sufficient, due to the uniqueness of building industry, on part of the product, but also on part of how the industry is organized, which is very different from other manufacturing industries. This means, that at least for now, to compete with traditional construction is very hard if the result is only assessed based on economic values, but social, aesthetic, and performance issues of the resulting building elements have to be part of the equation. (Evaluation of these, admittedly, can be ambiguous)."*

O arquiteto José Pedro Sousa da Universidade de Arquitetura do Porto [Fig 110], para além de corroborar a opinião dos dois arquitetos anteriores, enumerou as vantagens da aplicação da robótica na construção que: permitem executar novas formas em locais de difícil acesso; reduzir significativamente o tempo de construção; corrigir eventuais erros; e reduzir as principais restrições. *"como pudemos constatar vão alterar a forma como construímos , permitindo novas formas e facilitar a construção em locais inacessíveis... reduzindo erros humanos..."*

Pedro de Sousa acrescentou ainda que a robótica à semelhança do que acontece na fabricação de navios e



**Fig.110** - Professor arquitecto José Pedro Sousa, , faup, 2017. (sigarra.up.pt, 2017, 9)



**Fig.111** - Robots on the production line, Ford Plant, Swaythling, bcd, 2014. (bcd-urbex.com, 2017, 9)

automóveis, poderá ser facilmente aplicável na construção de elementos pré fabricados em ambientes controlados.

### **6.3 Considerações Finais**

Os factores humano, energético, económico e ambiental, alteraram-se com a revolução industrial devido ao aparecimento da maquina, e do carvão, influenciando a vida da sociedade, os relacionamentos pessoais, os postos de trabalho, e a quantidade de bens criados. O somatório destas alterações caracterizadoras do metabolismo, social implicaram que este evoluísse para o conceito de Metabolismo Industrial. [Fig. 111 e 112]

Ao analisar os mesmos factores na sociedade actual, dependente das novas tecnologias, verifiquei terem havido mudanças passíveis de alterar o conceito de metabolismo industrial para metabolismo tecnológico

Na análise que fiz considerei ainda que tem de haver um limite ético à substituição do trabalho do homem por máquinas inteligentes, sob risco de desintegração da sociedade.

Entrevistei ainda três arquitetos e professores universitários que têm dedicado a sua vida à investigação da construção robótica e com drones nomeadamente Fabio Gramazio, Tobias Bonwetsch e José Pedro Sousa.

Gramazio referiu que não há respostas concretas relativas ao futuro da construção com drones, mas dificilmente essa

mudança ocorrerá a curto-médio prazo, numa indústria em que as alterações foram sempre assimiladas de forma muito lenta.

Tobias Bonwetsch reforçou as opiniões de Gramazio, tendo acrescentado que a construção com drones poderá reduzir acidentes de trabalho em zonas de difícil acesso, facto que considera determinante para que não sejam só considerados na sua aplicação os factores económicos.

José Pedro Sousa, para além de corroborar a opinião dos dois arquitetos anteriores, acrescentou que a robótica poderá ser aplicada vantajosamente na construção de elementos pré fabricados em ambientes controlados.



**Fig.112** - Robots on the production line, Ford Plant, Swaythling, bcd, 2014. (bcd-urbex.com, 2017, 9)

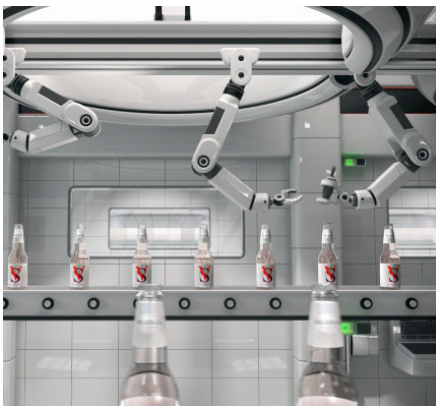


# 7

## CONCLUSÕES

---

---



**Fig.114** - Animação HIGHBALL, Dave Greene, 2016.(cargocollective.com, 2017, 9)

Ao analisar as indústrias pioneiras na implementação da robótica na produção, podemos considerar que a indústria da construção tem resistido à introdução da robotização na construção de edifícios. O processo de construção continua a ser bastante moroso, imperfeito e com custos de produção muito elevados, dependendo, quase na sua totalidade, do trabalho humano. Esta situação pode vir a ser alterada com a introdução de processos de construção que incluam a robotização, nomeadamente com o auxílio de Drones. O uso desta tecnologia poderá, à semelhança do que aconteceu nas outras indústrias referidas nos capítulos anteriores, vir a alterar a indústria da construção de edifícios permitindo e.g. executar casas de baixo custos como forma de fazer face às necessidades de habitação.

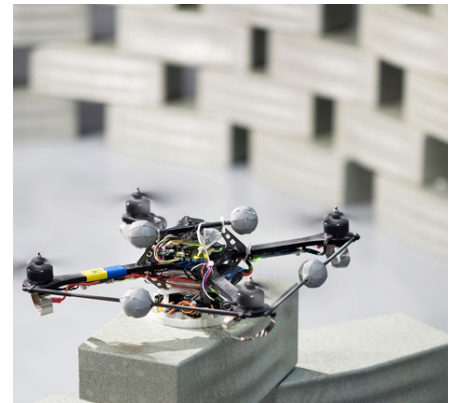
Podemos assim concluir que evolução da tecnologia dos drones tem vindo a criar condições para que estes possam ser aplicados na construção de modo a que estes possam participar na resolução de alguns dos atuais problemas. As possibilidades que estas tecnologias trazem permitem: i) construir formas complexas de modo rápido e sem erros; ii) promover a utilização de novos materiais já que cria uma grande flexibilidade de assemblagem; iii) idealizar a arquitetura numa nova forma, dando maior liberdade na criação de formas. Os braços robóticos e os drones podem ser usados em simultâneo, com tarefas diferentes, de forma a criar um edifício como um todo, reduzindo assim o erro humano e acelerando o processo de construção.



As duas experiências com drones que apresentámos no capítulo 4 tiveram sucesso, nomeadamente na construção de estruturas tensadas (através de tecelagem) e na construção de uma parede de tijolos (através de deposição). Atualmente existe tecnologia disponível para o fazer sendo necessário vontade para a desenvolver e aplicar na prática. As duas experiências com braços robóticos apresentadas no mesmo capítulo conseguem executar o mesmo trabalho, contudo com limitações em altitude.

Quer os drones quer os braços robóticos permitem construir com mais rapidez, menores custos, explorar novas formas e materiais, e permitindo repensar a maneira de projetar em arquitetura. [ Fig. 115]

No capítulo 6 desenvolvemos o conceito de metabolismo tecnológico, como um novo conceito que explica a sociedade atual. A entrevista a três arquitetos que trabalham nas áreas em análise revelou que malgrado a evolução tecnológica estar-se a desenvolver numa forma muito acelerada, estes acreditam que esta será dificilmente aplicável a curto e médio prazo à indústria da construção, que tem características muito diferentes das outras indústrias. Estes referiram ainda que a acontecer essa evolução esta será introduzida muito lentamente, devido ao elevado custo de aplicação dos drones, e que só se justificará em casos extremos como e.g. a construção submarina ou em ambientes perigosos. Para estes arquitetos a introdução destas tecnologias terá início com a aplicação de um sistema



**Fig.115** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8).

híbrido, homem-máquina , dado que a tecnologia ainda não está num estado de desenvolvimento capaz de responder às necessidades da construção in situ.No entanto um dos entrevistados referiu que na pré fabricação em ambientes controlados esta tecnologia atualmente já pode ser aplicada. Todos referiram que qualquer previsão de construção com drones in situ é ainda puramente especulativa. [Fig 116]

**Fig.116** - Render drone fleet John Lund, Getty Images, 2017. (motherboard.vice.com, 2017, 9)



## REFERÊNCIAS

---

### Livros

- Augugliaro, F., D'Andrea, R., Mirjan, A., Gramazio, F., & M.Kohler. (2013). Architectural fabrication of tensile structures with flying machines. Green Design, Materials And Manufacturing Processes, 513-518.
- Augugliaro, Federico, Sergei Lupashin, Michael Hamer, Cason Male, Markus Hehn, Mark W. Mueller, Jan Willmann, Fabio Gramazio, Matthias Kohler, Raffaello D'Andrea. "The Flight Assembled Architecture Installation." IEEE Control Systems Magazine 04, 34 Cooperative Control (2014): 46-64.
- Bonwetsch, T., Kobel, D., Gramazio, F., & Kohler, M. (2017). The Informed Wall applying additive digital fabrication techniques on architecture. ACADIA 2006: Synthetic Landscapes Digital Exchange, 491-494.
- Donghun, Lee (2013). Robots in the shipbuilding industry. Korea: Soongsil University

- Dunn, N. (2012). Digital fabrication in architecture (1st ed.). London: Laurence King.
- Fionda, Antoinette; Moore, Christopher (2009) The anatomy of the luxury fashion brand. Londres: Palgrave Macmillan UK.
- Fischer-kowalki, Marina (1998). Society's Metabolism: The intellectual History of Material Flow Analysis. Journal of Industrial Ecology, 61-78.
- Friedman, Thomas (2000). The Lexus and the Olive Tree. New York: Anchor Books
- Iwamoto, L. (2010). Digital fabrications (1st ed.). New York: Princeton Architectural
- Jürgens, Ulrich; Malsch, Thomas; Dohse, Knuth (1993) Breaking from Taylorism: Changing Forms of Work in the Automobile Industry. Inglaterra: Cambridge University Press.
- Michael, N., Fink, J. & Kumar, V. 2010. Cooperative manipulation and transportation with aerial robots. Autonomous Robots 30(1): 73
- Mirjan, Ammar, Federico Augugliaro, Raffaello D'Andrea, Fabio Gramazio, Matthias Kohler. "Building a Bridge with Flying Robots." In Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2016, Dagmar Reinhardt, Rob Saunders, Jane Burry, 34-47. Springer International Publishing, 2016.
- Pereira da Silva, N. (2014). A ética do militar no século XXI. La Etica Del Soldado Del Siglo XXI, 3(1).
- Rooks, Brian (1997). Robot welding in Shipbuilding. MCB University Press pp. 413-417
- Taylor, Frederick (1919). The Principles of Scientific Management. New York: Harper and Brothers Publishers.

## Websites

- Ahlborn, Tom. Industrial robotics in the automotive industry (2015). Industrial Robotics. Retrieved December 10, 2016, from: <https://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2015/09/17/industrial-robotics-automotive-industry/#.WHkgG2NFvJM>
- Amazon (2017). Amazon Prime Air. Amazon.com. Retrieved 31 May 2017, from: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011>
- Anona (2017). What is a robot arm?. Robots.com. Retrieved 10 February 2017, from: <https://www.robots.com/faq/show/what-is-a-robot-arm>
- Anonb (2017) What is drone (unmanned aerial vehicle, UAV)? - Definition from WhatIs.com. IoT Agenda. Retrieved 13 February 2017, from: <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>
- Bavaria Yachts. (2017a). YouTube. Retrieved 26 May 2017, from: <https://www.youtube.com/watch?v=GlciQXXkd4Q&t=109s>
- Bavaria Yachts (2017b) Quality: Persuasive power of sailing yachts | BAVARIA YACHTS. Bavariayachts.com. Retrieved 29 May 2017, from: <https://www.bavariayachts.com/en-uk/bavaria/quality/sailing-yachts/>
- Daily Mail,. (2017). Russia has turned its T-90 tank into a robot - and plans to hire gamers to fight future wars. Retrieved from: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3271094/Russia-turned-T-90-tank-robot-plans-hire-gamers-fight-future-wars.html>

- Davidow, William; Malone, Michael. What Happens to Society When Robots Replace Workers? (2014). Harvard Business Review. Retrieved December 10, 2016, from:  
<https://hbr.org/2014/12/what-happens-to-society-when-robots-replace-workers>
- Dronelli, V. (2017). 8 Heavy Lifting Drones [April 2017 Edition] | Available on Amazon. DronesGlobe.com. Retrieved 26 May 2017, from:  
<http://www.dronesglobe.com/guide/heavy-lift-drones/>
- ETHZ (2017a). Flying Machine Enabled Construction. Idsc.ethz.ch. Retrieved 2 May 2017, from:  
<http://www.idsc.ethz.ch/research-dandrea/research-projects/archive/flying-machine-enabled-construction.html>
- ETHZ (2017b). Aerial Construction. Idsc.ethz.ch. Retrieved 2 May 2017, from:  
<http://www.idsc.ethz.ch/research-dandrea/research-projects/aerial-construction.html>
- Fairs, M. (2017). On the Bri(n)ck at Graduate School of Design, Harvard University | Dezeen. Dezeen. Retrieved 28 May 2017, from:  
<https://www.dezeen.com/2009/05/11/on-the-brinck-at-graduate-school-of-design-harvard-university/>
- Gramazio, F. and Kohler, M. (2016). Gramazio Kohler Architects ETH SIA BSA. Gramaziokohler.com. Retrieved 2 May 2017, from:  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html>
- Harris, T. (2017). How Robots Work. HowStuffWorks. Retrieved 12 February 2017, from:  
<http://science.howstuffworks.com/robot2.htm>

- Heath, N. (2017). The long-range drone that can keep up with a car and fly for an hour - TechRepublic. TechRepublic. Retrieved 31 May 2017, from: <http://www.techrepublic.com/blog/european-technology/the-long-range-drone-that-can-keep-up-with-a-car-and-fly-for-an-hour/>
- HEIGHT TECH (2017). Frequently asked questions on drone technology HEIGHT TECH. HEIGHT TECH GmbH & Co. KG. Retrieved 30 May 2017, from: <http://heighttech.com/en/faq/>
- Hobson, B. (2015). Movie: building architecture with drones. Dezeen. Retrieved 2 May 2017, from: <https://www.dezeen.com/2015/03/03/movie-drones-building-architecture-ammar-mirjan-gramazio-kohler/>
- Howell, Elizabeth (2015) What Is A Drone?. Space.com. Retrieved 12 February 2017, from: <http://www.space.com/29544-what-is-a-drone.html>
- JPL, N. (2017). Arm and Hand - Mars Science Laboratory. Mars.jpl.nasa.gov. Retrieved 14 February 2017, from: <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/rover/arm/>
- Karp, M. (2017). The Different Drone Sizes and Their Uses | Droneblog. Droneblog.com. Retrieved 29 May 2017, from: <http://droneblog.com/2016/09/29/the-different-drone-sizes-and-their-uses/>
- Manaugh, Geoff (2017). Brick Swarm. BLDGBLOG. Retrieved 2 May 2017, from: <http://www.bldgblog.com/2011/11/brick-swarm/>



- Muro, Mark; Andes, Scott. Robots Seem to Be Improving Productivity, Not Costing Jobs (2015). Harvard Business Review. Retrieved December 16, 2016, from:  
<https://hbr.org/2015/06/robots-seem-to-be-improving-productivity-not-costing-jobs>
- Patten, Brigg. Robot shoe factory a new trend of the future? (2016). Automation. Retrieved December 20, 2016, from:  
<http://www.automation.com/automation-news/article/robot-shoe-factory-a-new-trend-of-the-future>
- Project Wing partners with Virginia Tech to test delivery by unmanned aircraft. (2016). Vtnews.vt.edu. Retrieved 13 February 2017, from:  
<http://www.vtnews.vt.edu/articles/2016/09/ictas-maaprojectwing.html>
- Rico, Carolina. Fábrica da Mercedes substitui robôs por pessoas (2016). Noticias ao Minuto. Retrieved Janeiro 10, 2017, from:  
<https://www.noticiasao minuto.com/economia/546316/fabrica-da-mercedes-substitui-robos-por-pessoas>
- U.S. Air Force (2017). MQ-9 Reaper > U.S. Air Force > Fact Sheet Display. Af.mil. Retrieved 27 May 2017, from:  
<http://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>

## ÍNDICE DE IMAGENS

---

- Fig.1** - Render drones na cidade. Rise of the Drones, 2017, (linkedin.com, 2017, 8)  
<https://www.linkedin.com/pulse/rise-drones-part-2-safety-security-innovation-claudia-iannazzo> pag. 15
- Fig.2** - Braço robótico a soldar objecto metalico, MX3D Bridge, 2017. (mx3d.com, 2017, 8)  
<http://mx3d.com> pag. 17
- Fig.3** - Braços robóticos a “imprimir” ponte, rederização, MX3D Bridge, 2017. (mx3d.com, 2017, 8)  
<http://mx3d.com> pag. 18
- Fig.4** - Drones para “Construction Mapping Solutions” 2017. (theurbandevloper.com, 2017, 8)  
<https://www.theurbandevloper.com/partnership-deploys-drones-construction-mapping-solutions/> pag. 19
- Fig.5** - The Rob|Arch 2012 em Rotterdam, 2017. (architectenweb.nl, 2017, 7)  
[https:// architectenweb.nl](https://architectenweb.nl) pag. 21
- Fig.6** - curta metragem ANA”, factory fifteen, 2015. (cinegnose.blogspot.pt , 2017, 8)  
<http://cinegnose.blogspot.pt/2016/09/curta-da-semana-ana-o-apocalipse-da.html> pag. 22
- Fig.7** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> pag. 24
- Fig.8** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> pag. 24

- Fig.9** - Nissan ASSEMBLY LINE, Resende, Nissan, 2014. (www.just-auto.com, 2017, 8)  
[https://www.just-auto.com/news/nissan-announces-i3-engine-for-resende-factory\\_id154312.aspx](https://www.just-auto.com/news/nissan-announces-i3-engine-for-resende-factory_id154312.aspx) pag. 26
- Fig.10** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> pag. 26
- Fig.11** - Nissan ASSEMBLY LINE, Resende, Nissan, 2014. (www.just-auto.com, 2017, 8)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> pag. 27
- Fig.12** - FIESTA ASSEMBLY LINE, COLOGNE, Ford, 2013. (media.ford.com, 2017, 8)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> pag. 28
- Fig.13** - Ship Assemblies, Kawasaki Robotic, 2013. (wildirisdiscovery.blogspot.pt, 2017, 8)  
<http://wildirisdiscovery.blogspot.pt/2013/07/what-is-difference-between-robot-and.html> pag. 29
- Fig.14** - Arc Welding Ship Assemblies, Kawasaki Robotic, 2013. (http://wildirisdiscovery.blogspot.pt, 2017, 8)  
<http://wildirisdiscovery.blogspot.pt/2013/07/what-is-difference-between-robot-and.html> pag. 30
- Fig.15** - Braços roboticos a cortar aberturas no casco da embarcação, Bavaria Yacht, 2017. ( sailingbreezes.com, 2107, 8)  
[http://sailingbreezes.com/Sailing\\_Breezes\\_Current/Articles/BS05/bavaria36.htm](http://sailingbreezes.com/Sailing_Breezes_Current/Articles/BS05/bavaria36.htm) pag. 30
- Fig.16** - Linha de montagem das embaçações, Bavaria Yach, Deutschland, Michael Amme, 2011. (michaelamme.de, 2017, 7)  
<http://michaelamme.de/yachtbauwerft-bavaria/> pag. 31
- Fig.17** - Revolução robotica na China: foxbots, Getty Images, 2017. (ibtimes.com, 2017, 7)  
<http://www.ibtimes.com/chinas-robotics-revolution-apple-supplier-foxconn-replaces-60000-workers-one-factory-2374220> pag. 32
- Fig.18** - Fabrica na China - Linha de montagem, Oreintal focus, 2015. (orientalfocus.wordpress.com, 2017, 7)  
<https://orientalfocus.wordpress.com/2015/08/11/chinas-pearl-river-delta-manufacturing-base-is-employing-large-number-of-vietnamese-illegal-workers/> pag. 33
- Fig.19** - fosconn robots, China, 2016. (zdnet.com, 2017, 7)  
<http://www.zdnet.com/article/apple-supplier-sheds-60000-jobs-but-says-quality-productivity-will-improve/> pag. 33
- Fig.20** - Robots na industria do calçado, IK4 Tekniker, 2016. (tekniker.es, 2017, 6)  
<http://www.tekniker.es/es/robots-para-la-automatizacion-de-la-industria-del-calzado> pag. 34
- Fig.21** - Robots na industria do calçado, IK4 Tekniker, 2016. (tekniker.es, 2017, 6)  
<http://www.tekniker.es/es/robots-para-la-automatizacion-de-la-industria-del-calzado> pag. 34
- Fig.22** - Fabrico dos sapatos marca Adidas, Speedfactory, Adidas, 2017, (mynewsdesk.com, 2017, 6)  
[https://www.mynewsdesk.com/swedbrand/blog\\_posts/adidas-replaces-humans-with-machines-to-produce-its-shoes-56054](https://www.mynewsdesk.com/swedbrand/blog_posts/adidas-replaces-humans-with-machines-to-produce-its-shoes-56054) pag. 35
- Fig.23** - A arte da criação de sapatos, Prada handmade colection, Prade, 2017. (Pinterest.com, 2017, 6)  
<https:// Pinterest.com> pag. 36

- Fig.24** - Estudantes em Michigan a construir Barco classico,Rod Sanford & Lansing State Journal, 2015. (lansingstatejournal.com, 2017, 8)  
<http://www.lansingstatejournal.com/story/news/local/2015/06/27/students-build-classic-boats/29385453/> pag. 36
- Fig.26** - Produção da marca Morgan Motor, Morgan Motor, 2014. (automobiliac.com, 2017, 8)  
<http://www.automobiliac.com/automobiliac/tag/english> pag. 37
- Fig.27** - Pojecto “The Hive”, New York, Hadeel Ayed Mohammad, 2016. (dornob.com, 2017, 8)  
<https://dornob.com/a-drone-hive-for-manhattan/> pag. 38
- Fig.28** - FABRICATION CHI SE, ZHANG Peili, 2017. (archisearch.gr, 2017, 8)  
<https://www.archisearch.gr/architecture/chi-she-archi-union-architects/> pag. 40
- Fig.29** - Fabclay: robot a produzir coluna por um processod e adição, kuka robot, Sasa Jozic, 2012. (designboom.com, 2017, 8)  
<https://www.designboom.com/readers/fabclay-robotic-additive-manufacturing-processes/> pag. 40
- Fig.30**- Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 40
- Fig.31** - Grau de liberdade física do braço robotio, (fotoseimagenes.net, 2017, 8)  
<http://www.fotoseimagenes.net/grado-de-libertad-fisica> pag. 43
- Fig.32** - 3ds kuka mechanical arm, kuka, Keepsake, 2017. (indiamart.com, 2017, 8)  
<https://www.indiamart.com/proddetail/robotic-welding-machine-11706497988.html> pag. 45
- Fig.32** - Grau de liberdade física do braço robotio, (fotoseimagenes.net, 2017, 8)  
<http://www.fotoseimagenes.net/grado-de-libertad-fisica> pag. 44
- Fig.33** - Grau de liberdade física do braço robotio, (fotoseimagenes.net, 2017, 8)  
<http://www.fotoseimagenes.net/grado-de-libertad-fisica> pag. 45
- Fig.34** - CISCO “ROBOT ARM”, David Rosenbaum, 2016. (digitaldomain.com, 2017, 8)  
<http://www.digitaldomain.com/work/cisco-robot-arm/> pag. 46
- Fig.35** - robots para cadeias de montagem, robotaprogrammings, 2017 (robotaprogrammingsl.com, 2017, 8)  
<http://www.robotaprogrammingsl.com/es/fotos/img/5747720/> pag. 46
- Fig.36** - Drone DJI Phantom 4 Pro, DJI, 2017. (worten.pt, 2017, 9)  
<https://www.worten.pt/fotografia/video/drones/drone-dji-phantom-4-pro-6065970> pag. 47
- Fig.37** - TYPHOON H PRO, UAS-Global, 2017. (uas-global.com, 2017, 9)  
<https://uas-global.com> pag. 48
- Fig.38** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)  
<http://www.defencetalk.com/pictures/showfull.php?photo=36534> pag. 49
- Fig.39** - Havilland DH.82 “Queen Bee”, UK Military, 2007. (dehavillandmuseum.co.uk, 2107, 8)  
<https://dehavillandmuseum.co.uk>, pag. 50
- Fig.40** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)  
<http://www.defencetalk.com/pictures/showfull.php?photo=36534> pag. 50

- Fig.41** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)  
<http://www.defencetalk.com/pictures/showfull.php?photo=36534> **pag. 52**
- Fig.42** - USAF MQ-9A Reaper UAV, Military Pictures, 2015. (defencetalk.com, 2017, 7)  
<http://www.defencetalk.com/pictures/showfull.php?photo=36534> **pag. 53**
- Fig.43** - Homem e Drone, 2016. (dronefluence.com, 2017, 7)  
<http://dronefluence.com> **pag. 54**
- Fig.44** - Drone miniatura, CHEERSON CX-10, Cheerson, 2016. (dronesglobe.com, 2017, 7)  
<http://www.dronesglobe.com/affordable-list/under50dollars/> **pag. 57**
- Fig.45** - Drone medio, Akaso X5C, AK-TECH, 2017. (amazon.com, 2017, 8)  
<https://www.amazon.com/AKASO-X5C-Quadcopter-360-degree-Propellers/dp/B012SSR374> **pag. 58**
- Fig.46** - Drone Profissional, DJI Inspire 1, DJI, 2017, (drohnen-vergleich.net, 2017, 8)  
<http://www.drohnen-vergleich.net/produkt/dji/inspire-1-t600-4k/> **pag. 58**
- Fig.47** - Renderização: Drones in the city, 2013. (es.gizmodo.com, 2017, 9)  
<http://es.gizmodo.com/estos-son-los-drones-que-sustituiran-a-los-mensajeros-509522846> **pag. 60**
- Fig.48** - Digital Wave, University of California, 2016. (universityofcalifornia.edu, 2017, 7)  
<https://universityofcalifornia.edu> **pag. 62**
- Fig.49** - Metropol Parasol Las Setas de Jürgen Hermann Mayer, Sevilla, Víctor Zamora, 2012. (panoramio.com, 2017, 8)  
<http://www.panoramio.com/photo/66503563> **pag. 62**
- Fig.50** - Endless House de frederick kiesler,1960. (archdaily.com, 2017, 8)  
<http://www.archdaily.com/126651/ad-classics-endless-house-friedrick-kiesler> **pag. 64**
- Fig.51** - Mafoombey de Martti Kalliala, iiarquitectos,2012. (iiarquitectos.com, 2017, 9)  
<http://www.iiarquitectos.com/2012/04/arquitectura-de-carton.html> **pag. 64**
- Fig.52** - The informed Wall, Gramzio and kohler, 2016. (idsc.ethz.ch, 2017, 8)  
<https://dsc.ethz.ch> **pag. 65**
- Fig.53** - Smaller And Smaller, M.C. Escher, 1956. (wikiart.org, 2017, 9)  
[https://www.wikiart.org/en/m-c-escher/not\\_detected\\_204750](https://www.wikiart.org/en/m-c-escher/not_detected_204750) **pag. 65**
- Fig.54** - Technicolor Bloom, Brennan Buck, 2008. (dezeen.com, 2017, 8)  
<https://dezeen.com> **pag. 66**
- Fig.55** - Gantenbein Winery, Switzerland, Brick Walls, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea, 2006. (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 67**
- Fig.56** - Air Force Academy Cadet Chapel de Walter Netsch, Jr.,Mark Gerwing, 2009. (flickr.com, 2017, 9)  
<https://www.flickr.com/photos/mgerwing/4026512440/> **pag. 68**
- Fig.57** - In-Out Curtain, IwamotoScott Architects, 2005. (architizer.com, 2017, 9)  
<https://architizer.com/projects/in-out-curtain/> **pag. 68**

## A construção robotizada em Arquitetura

- Fig.58** - The Bone Wall Installation, Joe MacDonald/Urban A&O Architecture LLC, 2016. (storefrontnews.or, 2017, 9)  
<http://storefrontnews.org/programming/joe-macdonaldurban-ao-architecture-llc-the-bone-wall/> pag. 70
- Fig.59** - CNC panels, Jeremy Ficca, 2015. (flickrriver.com, 2017, 9)  
<http://www.flickrriver.com/photos/watz/tags/pittsburgh/> pag. 70
- Fig.60** - Robotic metal forming, Jeremy Ficca, 2015. (flickrriver.com, 2017, 9)  
<http://www.flickrriver.com/photos/watz/tags/pittsburgh/> pag. 71
- Fig.61** - Alice, Florencia Pita, 2007. (laxart.org, 2017, 9)  
<http://laxart.org/exhibitions/view/florencia-pita-alice/#images> pag. 72
- Fig.62** - “Dark Places”, Servo, 2006. (archidose.blogspot.pt, 2017, 9)  
[https:// archidose.blogspot.pt](https://archidose.blogspot.pt) pag. 72
- Fig.63** - Tel Aviv Museum of Art de Preston Scott Cohen, Amit Geron, 2011. (architizer.com, 2017, 9)  
<https://architizer.com/projects/herta-and-paul-amir-building-tel-aviv-museum-of-art/> pag. 73
- Fig.64** - Pojecto “The Hive”, New York, Hadeel Ayed Mohammad, 2016. (dornob.com, 2017, 8)  
<https://dornob.com/a-drone-hive-for-manhattan/> pag. 74
- Fig.65** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8).  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 77
- Fig.66** - render do projecto para a torre, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 79
- Fig.67** - drones a posar na base de descaso, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 79
- Fig.68** - drone a colocar os tijolos, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 79
- Fig.69** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 80
- Fig.70** - Sequenci a de funcionamento do software, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 80
- Fig.71** - No flight zone, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 82
- Fig.72** - Sistema de garra para os drones, Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012 (gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 82
- Fig.73** - Flying Machine Arena, 2016. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 83
- Fig.74** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D`Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> pag. 85

- Fig.75** - Drone com carroto automatico, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 85**
- Fig.76** - trajetoria do drone, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 86**
- Fig.77** - Tipos de nós, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9).  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 86**
- Fig.78** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 87**
- Fig.79** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 87**
- Fig.80** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 89**
- Fig.81** - Processo de Montagem, Aerial Construction, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 89**
- Fig.82** - Area de concepção, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 91**
- Fig.83** - Exemplo de parede, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 91**
- Fig.84** - Braço robotico a colocar tijolos, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012.  
(idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 92**
- Fig.85** - Area de concepção e exemplosde paredes, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 95**
- Fig.86** -Area de concepção e exemplosde paredes, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 95**
- Fig.87** - Area de concepção e exemplosde paredes, the Informed wall, Federico Augugliaro, Prof. Raffaello D'Andrea, 2012. (idsc.ethz.ch, 2017, 9)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 95**

## A construção robotizada em Arquitetura

- Fig.88** - Exemplo da parede, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)  
<https://harvard.edu> **pag. 96**
- Fig.89** - Exemplo da parede, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)  
<https://harvard.edu> **pag. 96**
- Fig.90** - Processo de criação, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9)  
<https://harvard.edu> **pag. 97**
- Fig.91** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012  
(gramaziokohler.com, 2017, 8)  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 98**
- Fig.91** - Exemplo de drone desenvolvido pelo IT, ISCTE-IUL (ISCTE, 2017, 9) **pag. 100**
- Fig.92** - representação esquemática da torre de 6 tiolos, experiência 1, alçado e planta, pelo autor. **pag. 103**
- Fig.93** - representação esquemática da localização dos elementos, experiência 1, pelo autor. **pag. 104**
- Fig.94** - representação esquemática da trajetória do 1º drone, experiência 1, pelo autor. **pag. 104**
- Fig.95** - representação esquemática das trajetórias de montagem com dois drones, experiência 1, pelo autor. **pag. 105**
- Fig.96** - representação esquemática das trajetórias, experiência 2, pelo autor. **pag. 106**
- Fig.97** - representação esquemática da parede criada, experiência 2, pelo autor. **pag. 107**
- Fig.98** - representação esquemática da parede criada, experiência 3, pelo autor. **pag. 107**
- Fig.99** - Processo de criação, Projecto On the bri-n-ck, 2009. (harvard.edu, 2017, 9) **pag. 108**
- Fig.100** - Man vs machine, Dogul Koo, 2012.(Pinterest.com, 2017, 8)  
<http://Pinterest.com> **pag. 110**
- Fig.101** - Braços robóticos para linha de montagem, 3ds kuka mechanical arm, kuka, Keepsake, 2017.  
(indiamart.com, 2017, 8)  
<http://indiamart.com> **pag. 112**
- Fig.102** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)  
<http://www.iexpats.com/robot-workers-undermine-retirement-finances/> **pag. 113**
- Fig.103** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)  
<http://www.iexpats.com/robot-workers-undermine-retirement-finances/> **pag. 113**
- Fig.104** - Artificial Intelligence, Robot Industry Germany, 2015. (footage.framepool.com, 2017,8)  
<https://footage.framepool.com> **pag. 114**
- Fig.105** - conceptual image, fosconn robots, China, 2016. (zdnet.com, 2017, 7)  
<https://zdnet.com> **pag. 115**
- Fig.106** -Machine head: unlike humans, robots are incapable of creative thought, Getty Images, 2016.  
(telegraph.co.uk, 2017, 9)  
<https://telegraph.co.uk> **pag. 116**
- Fig.107** - Robotic car production line, iexpats, 2014. (iexpats.com, 2017, 9)  
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/ru/ru/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html> **pag. 119**
- Fig.108** - Professor e arquitecto Fabio Gramazio, ETHZ, 2017. (dfab.arch.ethz.ch, 2017, 9)  
<https://dfab.arch.ethz.ch> **pag. 120**



- Fig.109** - Architect Tobias Bonwetsch, institute for Technology in Architecture,2016. (digitalcrafting.dk, 2017, 9)  
[https:// digitalcrafting.dk](https://digitalcrafting.dk) **pag. 122**
- Fig.110** - Professor arquitecto José Pedro Sousa, , faup, 2017. (sigarra.up.pt, 2017, 9)  
[https:// sigarra.up.pt](https://sigarra.up.pt) **pag. 123**
- Fig.111** - Robots on the production line, Ford Plant, Swaythling, bcd, 2014. (bcd-urbex.com, 2017, 9)  
<https://www.bcd-urbex.com/ford-transit-van-factory-southampton/> **pag. 124**
- Fig.112** - Robots on the production line, Ford Plant, Swaythling, bcd, 2014. (bcd-urbex.com, 2017, 9)  
<https://www.bcd-urbex.com/ford-transit-van-factory-southampton/> **pag. 125**
- Fig.114** - Animação HIGHBALL, Dave Greene, 2016.(cargocollective.com, 2017, 9)  
<http://cargocollective.com/davegreene/filter/Animation/HIGHBALL> **pag. 130**
- Fig.115** - Projecto Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D`Andrea, 2012  
(gramaziokohler.com, 2017, 8).  
<http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html> **pag. 131**
- Fig.116** - Render drone fleet John Lund, Getty Images, 2017. (motherboard.vice.com, 2017, 9)  
[https:// motherboard.vice.com](https://motherboard.vice.com) **pag. 133**

